SAUL SORIN

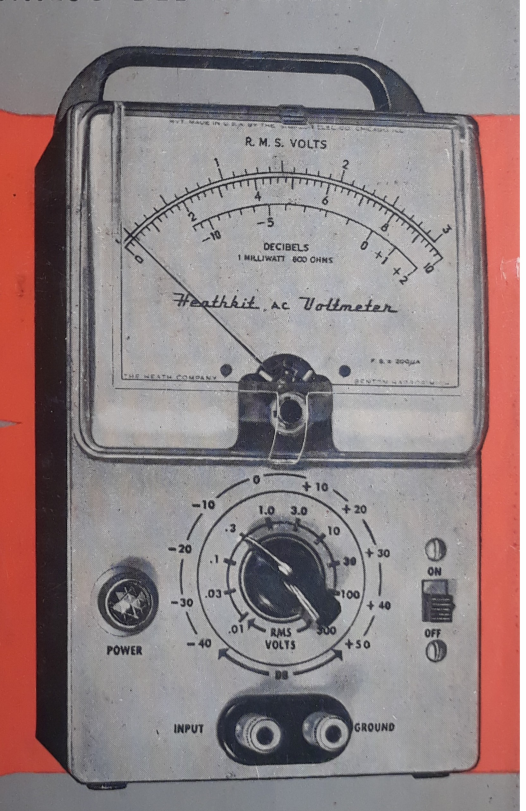
TEORIA Y PRACTICA del Decibel

USO Y MANEJO DEL DECIBELIMETRO

VU-METROS

MEDIDORES DE "S"

RUIDOS Y MODULACION



H. A. S. A.
EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A.

TEORIA Y PRACTICA DEL DECIBEL

por SAUL SORIN

El autor de esta obra posee tan vastos conocimientos sobre la materia que, ajustándose a un número relativamente reducido de páginas, ha conseguido con notable habilidad mediante múltiples ejemplos y problemas, que este libro sea de gran utilidad no solamente para el radiotécnico, sino también para los especializados en grabación, amplificación del sonido y cinematografía sonora. Sus nueve capítulos comprenden desde la enseñanza de los logaritmos (imprescindibles para comprender el resto del texto) hasta el "vademecum" final, donde se incluyen tablas, fórmulas, gráficos y datos útiles, pasando por las nociones generales que conducen a una interpretación clara de la unidad decibel, el estudio de los niveles de referencia, el manejo del decibelímetro y sus aplicaciones prácticas, el uso de los VU-metros, medidores de "S" y porciento de modulación, medidores de nivel de intensidad de sonido y analizadores de espectros de ruidos, los que facilitan a los interesados en las materias tratadas un conocimiento cabal.

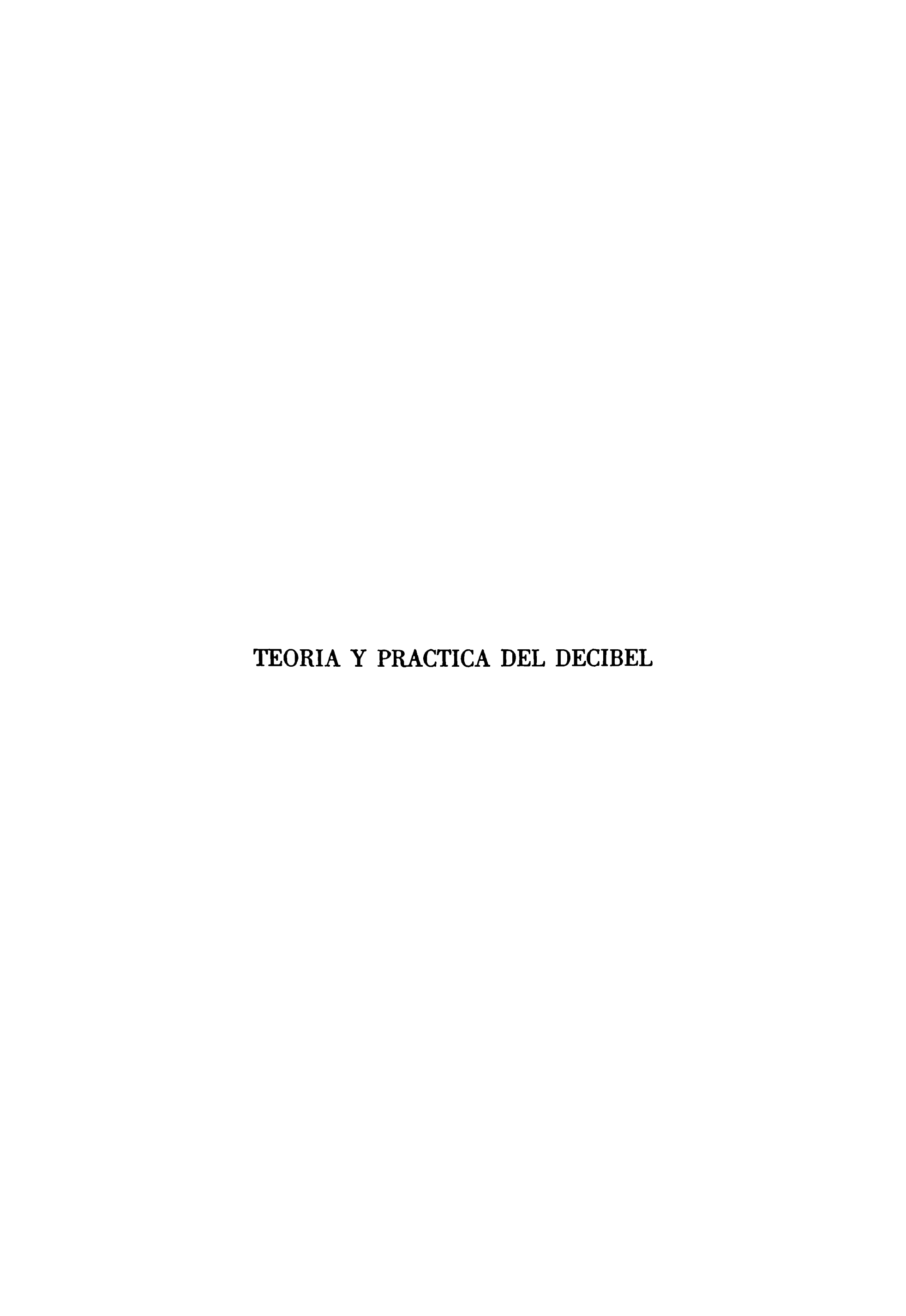
Saul Sorin, paralelamente con sus actividades docentes es autor de *Radio-Reparaciones, Iluminación Fluorescente, Teoría y Práctica del Transistor, Teoría y Práctica del Oscilador de R.F.* y *Matemáticas para Radiotécnicos*, así como asiduo colaborador de las principales revistas técnicas de nuestro país.

EDITORIAL HISPANO AMERICANA, S. A., cumpliendo con su firme propósito de seguir ofreciendo a los técnicos en Electrónica las más modernas e interesantes obras sobre la materia, al ofrecer la presente, espera de ellos la misma acogida que han merecido las anteriormente publicadas.

EDITORIAL
HISPANO AMERICANA, S. A.
Alsina 731 Buenos Aires



EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A. H. A. S. A.



TEORIA Y PRACTICA DEL DECIBEL

SAUL SORIN

TEORIA Y PRACTICA DEL DECIBEL

(*EL DECIBELIMETRO*)

MEDIDORES DE "S", VU-METROS
MEDIDORES DE PORCIENTO DE MODULACION
MEDIDORES DE ESPECTRO DE RUIDOS

98 FIGURAS, 51 TABLAS



EDITORIAL HISPANO AMERICANA, S. A.
BUENOS AIRES

Queda hecho el depósito que marca la ley Nº 11.723

Alsina 731, Buenos Aires, 1958

Impreso en la Argentina
Printed in Argentina

A mi esposa y a mi
hijo Jaime Rodolfo.

INDICE

PREFACIO

Difícilmente pueda concebirse un radiotécnico que acepte un multímetro (el vulgar "tester") que no posea la correspondiente escala graduada en decibeles. Pero, paradójicamente, son muy pocos los usuarios que saben aplicar prácticamente esta parte tan importante del probador. Adquirido el instrumento, sus aplicaciones se reducen, en la mayor parte de los casos, a la medición de tensiones y a la comprobación de resistencias, o sea a una ínfima parte de la enorme cantidad de indicaciones útiles que el técnico capaz puede obtener, a poco que adquiera unos cuantos conocimientos fundamentales, de ningún modo complicados.

No dudamos en afirmar que, una vez que el lector tome en cuenta estos conocimientos, el decibelímetro *ha de constituir una de las partes del multímetro que más utilidad le ha de prestar en el taller, especialmente en cuanto al ajuste de receptores y amplificadores se refiere.*

Al mismo tiempo, el conocimiento de la unidad decibel, *de su significado, de su importancia, ha de permitir una mejor comprensión de los desarrollos teóricos que llenan las páginas de las revistas especializadas y libros de texto, así como de las especificaciones técnicas de los fabricantes de implementos para radio, amplificación y televisión.* Podemos asegurar que son muy pocos los profesionales que están en condiciones de aprovechar cabalmente estos datos de fábrica o laboratorio.

A tratar de salvar esta situación tiende esta obra, en la que no se han escatimado ni ejemplos ni tablas, para facilitar el aprendizaje y la aplicación práctica de los conocimientos vertidos. En total se ha dividido la exposición en nueve capítulos, de los cuales el primero está dedicado a enseñar el significado del logaritmo, así como a la resolución de operaciones en que interviene el mismo. Ello es fundamental para poder encarar con éxito el aprendizaje de los siguientes capítulos, puesto que el decibel es una unidad logarítmica.

El capítulo II suministra una noción clara de lo que representa la unidad decibel; ventajas y limitaciones de su uso; métodos prácticos para facilitar los cálculos; uso de las tablas y empleo de la regla de cálculo.

El capítulo III expone los niveles de referencia, la diferenciación existente entre "dB", "dBm", "dBV" y "dBvg" y los métodos para la conversión entre regímenes. Todos estos conocimientos se condensan en el capítulo IV, donde se exponen los problemas más frecuentes en que interviene el decibel. Tenemos la certeza de que, con estos ejemplos el lector podrá encarar cualquier problema que pueda presentársele en la práctica, así como estar en condiciones de entender cualquier desarrollo teórico en que intervengan decibeles.

A partir del capítulo V se comienza a suministrar todos los conocimientos necesarios para el manejo del decibelímetro y sus aplicaciones prácticas. Estas últimas comprenden las mediciones que permiten efectuar trazados de curvas características de funcionamiento, ajuste de ecualizadores y filtros, medición de ganancia, establecimiento de la relación señal-ruido, etc.

Con el fin de que esta obra pueda ser aprovechada por todas las ramas de la electrónica, en el capítulo VII se desarrolla exhaustivamente la descripción y uso de todos los instrumentos que emplean escalas graduadas en decibeles, VU-metros (para los técnicos en grabación, cine sonoro, amplificación), medidores de "S" y porciento de modulación (para los transmisoristas), medidores de nivel de intensidad de sonido y analizadores de espectros de ruido (para los especialistas en acústica).

El capítulo VIII está dedicado a la interpretación de los gráficos en donde intervienen escalas logarítmicas, suministrándose múltiples ejemplos prácticos, que permitirán encarar con éxito un tema temido por los lectores, que ven en los gráficos un escollo para sus deseos de embarcarse en temas que se apartan de los convencionales. Por muchos conceptos este capítulo es uno de los más importantes de esta obra.

El capítulo final está dedicado a una especie de "vademecum", en el que se incluyen fórmulas, tablas, gráficos y datos útiles en que interviene la unidad decibel.

A través de esta exposición sucinta del contenido de esta obra, el lector podrá apreciar como se ha cuidado la planificación de los conocimientos vertidos, con el fin de facilitar su aprendizaje, al alcance de cualquiera que conozca tan sólo las cuatro operaciones fundamentales. La multiplicidad de ejemplos prácticos, gráficos y tablas permitirá que la amplia exposición teórica encuentre su correspondiente aplicación práctica, fin esencial de este libro, que creemos indispensable para todos aquellos que deseen obtener una comprensión cabal de todos los problemas de su profesión.

EL AUTOR.

CAPITULO I

LOGARITMOS

¿Qué es un logaritmo? — Logaritmos decimales o de Briggs — ¿Qué ventajas reporta el empleo de logaritmos en las operaciones? — Logaritmo de un producto — Logaritmo de un cociente — Logaritmo de una potencia — Logaritmo de una raíz — Operaciones con logaritmos — Logaritmo de un número entero — Logaritmo de un número decimal — Logaritmo de un número decimal cuyo entero es igual a cero — Logaritmo de un número que no figura en la tabla — ¿Qué es el antilogaritmo? — Antilogaritmo de un número con característica positiva — Antilogaritmo de un número negativo — Antilogaritmo de un número cuya mantisa no figura en la tabla — ¿Qué es el cologaritmo? — Logaritmos Neperianos o hiperbólicos.
APENDICE: Tablas de logaritmos comunes o de Briggs y antilogaritmos.

Siendo el *decibel,* tal como lo veremos más adelante, una unidad de carácter *logarítmico,* es evidente que corresponde suministrar, antes que otra cosa, los conocimientos necesarios para que el estudiante pueda estar en condiciones de realizar todas las operaciones que se le presenten, y que involucren logaritmos.

1. ¿Qué es un logaritmo?

Al definir la potenciación, o elevación a potencias, se establece que si se da un número positivo cualquiera, denominado *base,* y se lo multiplica por sí mismo tantas veces como lo indica otro número, denominado *exponente,* obtendremos un tercer número, denominado *resultado.* Un ejemplo sencillo sería la siguiente operación:

$$10^2 = 100$$

donde 10 es la base, 2 es el exponente y 100 el resultado.

Pues bien, si se nos presenta otra operación, donde se nos da la base y el resultado, el procedimiento para determinar el valor que debe tener el exponente, se denomina *logaritmación.* Así, en el caso del ejemplo anterior, si se conocen la base 10 y el resultado 100, el procedimiento para establecer el valor del exponente (2 en nuestro caso) es la logaritmación, recibiendo el resultado (2) el nombre de *logaritmo de 100 con base 10.* Esto se escribe de la siguiente manera:

$$\log_{10} 100 = 2$$

Tratándose de la base 10, es permitido prescindir del subíndice 10 en la

escritura, quedando sobrentendido que nos estamos refiriendo a tal valor de base. Así, por ejemplo:

$$\log 1000 = 3$$

se lee logaritmo de 1000, con base 10, igual a 3. Cosa que significa que la base 10 deberá multiplicarse por sí mismo tres veces para que el resultado sea mil ($10 \times 10 \times 10 = 1000$).

En algunos textos, se acostumbra a denominar a los logaritmos con base 10, como logaritmos *vulgares* o *decimales* y también logaritmos de *Briggs*, en honor de *Henry Briggs*, su inventor.

El logaritmo puede ser definido, asimismo, como la relación existente entre una *progresión aritmética* de razón igual a la unidad, que comienza con cero, y una *progresión geométrica*, de razón diez, que comienza con uno. Esto se puede ver más claramente a continuación:

0	1	2	3	4	5	6
1	10	100	1000	10.000	100.000	1.000.000

En la fila superior se ha escrito la progresión aritmética, en tanto que en la fila inferior aparece la progresión geométrica. Obsérvese que a 100 le corresponde, en la hilera superior, el número dos, que es justamente su logaritmo ($10^2 = 100$). A 1000 le corresponde 3 y así sucesivamente. Esta interesante relación entre las dos progresiones, constituye la base de la regla de cálculo logarítmico.

2. ¿Qué ventajas reporta el empleo de los logaritmos?

En la siguiente lista pueden resumirse las enormes ventajas que reporta el empleo de los logaritmos, para la resolución de las operaciones aritméticas:

1) transforma las multiplicaciones en sumas;

2) transforma las divisiones en restas;

3) transforma la potenciación en multiplicación;

4) transforma la radicación en división.

Estas enormes ventajas prácticas, no son más que la consecuencia de la aplicación de las siguientes propiedades de los logaritmos:

A) *El logaritmo de un producto es igual a la suma de los logaritmos de los factores.* — Sea, por ejemplo, $\log_{10}(100 \times 10)$; esta operación indicada se resuelve así:

$$\log_{10}(100 \times 10) = \log_{10} 100 + \log_{10} 10$$

y como

$$\log_{10} 100 = 2$$

y

$$\log_{10} 10 = 1$$

por lo tanto

$$\log_{10} 100 + \log_{10} 10 = 2 + 1 = 3$$

En efecto:

$$\log_{10} (100 \times 10) = \log_{10} 1000 = 3$$

con lo que queda demostrado el enunciado. De acuerdo con esto, si se nos da, por ejemplo, el producto (100 × 10) y se desea hallar su resultado, bastará con establecer el logaritmo de 100 y luego el de 10, sumar ambos logaritmos y, luego, determinar a qué número corresponde el mismo. Así, en nuestro ejemplo, el logaritmo 3 corresponde al número 1000, de modo que 1000 será el resultado de multiplicar 100 × 10. En resumidas cuentas, el *producto* enunciado puede efectuarse mediante la *suma* de los respectivos logaritmos de sus factores.

B) *El logaritmo de un cociente es igual al logaritmo del dividendo menos el logaritmo del divisor.* — Sea, por ejemplo, $\log_{10} (1000/10)$; esta operación indicada se resuelve así:

$$\log_{10} \left(\frac{1000}{10}\right) = \log_{10} 1000 - \log_{10} 10$$

y como

$$\log_{10} 1000 = 3$$

y

$$\log_{10} 10 = 1$$

por lo tanto

$$\log_{10} 1000 - \log_{10} 10 = 3 - 1 = 2$$

En efecto:

$$\log_{10} \left(\frac{1000}{10}\right) = \log_{10} 100 = 2$$

con lo que queda demostrado el enunciado. De acuerdo con esto, si se nos da, por ejemplo, el cociente (1000/10) y se desea hallar el resultado, bastará con establecer el logaritmo de 1000 y luego el de 10, restar ambos logaritmos y, luego, determinar a que número corresponde el mismo. Así, en nuestro ejemplo el logaritmo 2 corresponde a 100, de modo que 100 será el resultado de dividir 1000 por 10. En resumen, mediante los logaritmos se transforman las *divisiones* en *restas*.

C) *El logaritmo de una potencia es igual al logaritmo de la base multiplicado por el exponente.* — Sea, por ejemplo, $\log_{10} 100^2$; esta operación indicada se resuelve así:

$$\log_{10} 100^2 = 2 \log_{10} 100$$

y como

$$\log_{10} 100 = 2$$

entonces

$$2 \times 2 = 4$$

En efecto:

$$\log_{10} 100^2 = \log_{10} 10.000 = 4$$

con lo que queda demostrado el enunciado. De acuerdo con esto, si se nos da, por ejemplo, la operación 100^2 y se desea hallar el resultado, bastará con establecer el logaritmo de la base (100) y multiplicar el resultado por el coeficiente (2), y luego determinar a qué número corresponde el logaritmo que hemos obtenido como resultado (4). Así, en nuestro caso, el logaritmo 4 corresponde al número 10.000 de modo que éste será el resultado de elevar 100 al cuadrado.

Resumiendo, mediante los logaritmos pueden transformarse las *potencias* en *productos.*

D) *El logaritmo de una raíz es igual al logaritmo del radicando dividido por el índice de la raíz.* — Sea, por ejemplo

$$\log_{10} \sqrt{100};$$

esta operación puede resolverse así:

$$\log_{10} \sqrt{100} = \frac{\log_{10} 100}{2}$$

y como

$$\log_{10} 100 = 2$$

entonces

$$\frac{2}{2} = 1$$

En efecto:

$$\log_{10} \sqrt{100} = \log_{10} 10 = 1$$

con lo que queda demostrado el enunciado. De acuerdo con esto, si se nos da, por ejemplo, la operación $\sqrt{100}$ y se desea hallar su resultado, bastará con establecer el logaritmo del radicando (100) y dividir el resultado por el índice (2), y luego determinar a qué número corresponde el logaritmo que hemos obtenido como resultado (1). Así, en nuestro caso, el logaritmo 1 corresponde al número 10, de modo que éste será el resultado de extraer la raíz cuadrada de 100.

Resumiendo, mediante los logaritmos pueden transformarse las *radicaciones* en *divisiones.*

3. Operaciones con logaritmos.

Caso I: logaritmo de un número entero. — El logaritmo de un número entero consta de dos partes, una de ellas entera, denominada *característica,* y otra decimal, denominada *mantisa.* Así, el logaritmo 25 es 1,39, donde 1 es la característica y 0,39 la mantisa. Por lo tanto, para establecer el logaritmo de un número se comenzará por determinar la característica y, a continuación, la mantisa.

La determinación de la característica del logaritmo que corresponde a un número entero no puede ser más sencilla, puesto que todo se reduce a establecer la cantidad de guarismos de que consta el número en cuestión y luego restar uno al resultado. Así, por ejemplo, la característica del número 99 será 2 — 1 = 1 y también lo será de los números 14, 77, 24, 68 y 89, puesto que todos estos números poseen dos cifras. Recién el número 100 tendrá como característica 2, manteniéndose este valor hasta llegar a 999 inclusive. En cambio 1000 tendrá como característica 3.

De acuerdo con lo recién establecido, la característica de la unidad es cero, valor que también alcanza a todos los números hasta 9 inclusive.

Para establecer el valor de la parte decimal del logaritmo, o mantisa, habrá que recurrir a la *tabla de logaritmos*, una de cuyas páginas reproducimos en la fig. 1. Así, para el número 27 la tabla asigna como mantisa el número 43136, y como la característica es 1, puesto que el número 27 tiene dos guarismos, es evidente que el logaritmo de 27 será 1,43136.

Debe tenerse la precaución de no confundirse al utilizar las tablas de logaritmos, puesto que algunas incluyen la mantisa solamente, como es el caso de las tablas al final del capítulo, en tanto que otras suministran el logaritmo completo, o sea característica y mantisa, como es el caso de la tabla de *Lalande,* a la que corresponde la fig. 1.

Caso II: logaritmo de un número decimal. — En igual forma como para el caso del número entero, se comenzará por establecer la característica y, luego, la mantisa. Para la característica sólo se tomará en cuenta la parte entera del número dado. Así, en el caso del número 27,589 la característica será solamente 1, puesto que la parte entera posee dos guarismos (2—1 = 1). En cuanto a la mantisa, el procedimiento a seguir para su determinación será el siguiente:

1) se establece la diferencia entre la mantisa de los números enteros anterior y posterior al dado.

2) se multiplica la diferencia hallada por la fracción decimal del número dado.

3) el resultado se sumará a la mantisa del número entero que *precede* al dado.

En el caso de nuestro ejemplo (27,589), la determinación de la mantisa se efectuará de la siguiente manera:

$$\log_{10} 27 = 1{,}43136$$

$$\log_{10} 28 = 1{,}44716$$

Núm.	Logarit.	Núm.	Logarit.	Núm.	Logarit.
0	—	30	1,47712	60	1,77815
1	0,00000	31	1,49136	61	1,78533
2	0,30103	32	1,50515	62	1,79239
3	0,47712	33	1,51851	63	1,79934
4	0,60206	34	1,53148	64	1,80618
5	0,69987	35	1,54407	65	1,81291
6	0,77815	36	1,55630	66	1,81954
7	0,84510	37	1,56820	67	1,82607
8	0,90309	38	1,57978	68	1,83251
9	0,95424	39	1,59106	69	1,83885
10	1,00000	40	1,60206	70	1,84510
11	1,04139	41	1,61278	71	1,85126
12	1,07918	42	1,62325	72	1,85733
13	1,11394	43	1,63347	73	1,86332
14	1,14613	44	1,64345	74	1,86923
15	1,17609	45	1,65321	75	1,87506
16	1,20412	46	1,66276	76	1,88081
17	1,23045	47	1,67210	77	1,88649
18	1,25527	48	1,68124	78	1,89209
19	1,27875	49	1,69920	79	1,89763
20	1,30103	50	1,69897	80	1.90309
21	1,32222	51	1,70757	81	1,90849
22	1,34242	52	1,71600	82	1,91381
23	1,36173	53	1,72428	83	1,91908
24	1,38021	54	1,73239	84	1,92428
25	1,39794	55	1.74036	85	1,92942
26	1,41497	56	1,74819	86	1,93450
27	1,43136	57	1,75587	87	1,93952
28	1,44716	58	1,76343	88	1,94448
29	1,46240	59	1,77035	89	1,94939
30	1,47712	60	1.77815	90	1,95424

Fig. 1. — Modelo de una hoja de la tabla de logaritmos de Lalande.

De acuerdo con esto, la diferencia entre las dos mantisas es de 1580 (44716 — 43136 = 1580). A continuación se multiplicará esta diferencia por la parte decimal del número dado (0,589):

$$1580 \times 0{,}589 = 930$$

Sumando este resultado a la mantisa del logaritmo de 27 se tendrá la mantisa del logaritmo de 27,589:

$$43136 + 930 = 44066$$

y el resultado buscado será: $\log_{10} 27{,}589 = 1{,}44066$.

Caso III: logaritmo de un número decimal, cuyo entero es igual a cero. — En este caso, debe tenerse en cuenta que la característica es *negativa*, y consta de tantos lugares como ceros haya antes de la primera cifra significativa, *más* uno. Así:

a) característica del logaritmo de 0,081 = —2;

b) característica del logaritmo de 0,0042 = —3;

c) característica del logaritmo de 0,3 = —1.

En cuanto a la mantisa, se establece en la misma forma como en el caso de los números decimales cuya parte entera no es cero. Así, por ejemplo, el logaritmo de 0,084 es igual a —2,92428, recordando siempre que *sólo* la parte entera es negativa, *no* así la decimal, que siempre es positiva. Ya se verá más adelante, la enorme importancia que reviste esto en los cálculos. En algunos textos, para especificar más claramente que sólo la característica es negativa, se coloca el signo (—) encima de la parte entera del logaritmo y no delante. Ejemplo: $\log_{10} 0{,}081 = \bar{2}{,}90849$.

Caso IV: logaritmo de un número que no figura en la tabla. — En algunas tablas de logaritmos figuran los valores correspondientes hasta el número 10.000. Si tenemos un número entero mayor, la determinación de su logaritmo deberá efectuarse mediante el siguiente procedimiento: se correrá una coma decimal, a partir de la derecha, transformándolo en un número menor, en cuanto a su parte entera se refiere. Así en el caso del número 15985, que no figura en la tabla, después de colocada la coma decimal se tendrá el número 1598,5 que figura. Estableceremos la mantisa de este número, en la forma como hemos estudiado:

mantisa de $\log_{10} 1598$ 20358

mantisa de $\log_{10} 1599$ 20385

Diferencia entre ambas mantisas:

$$20385 - 20358 = 27$$

Luego:

$$27 \times 0,5 = 13,5$$

y, finalmente:

$$20358 + 13,5 = 203715$$

que será la mantisa del número buscado. En cuanto a la característica, la misma será, evidentemente, 4, por lo que el resultado final podrá escribirse:

$$\log_{10} 15985 = 4,203715$$

De lo que recién acabamos de exponer se deduce que en el caso de los números:

0,1598
1,598
15,980
159,800
1598,000
15980,000

la mantisa será siempre la misma (20358) variando solamente la característica ($\bar{1}$, 0, 1, 2, 3, 4 respectivamente). Esto sugiere un procedimiento de simplificación para las operaciones, puesto que si se desea determinar el logaritmo de 1,598, que es bastante complicado en cuanto a la determinación de la mantisa se refiere, bastará con buscar la mantisa de 1598 y luego cambiar la característica 3 del logaritmo de este número por 0 que es el que corresponde a 1,598.

4. ¿Qué es el antilogaritmo?

Hasta ahora hemos operado de modo tal que, dado un número cualquiera, debía hallarse el logaritmo correspondiente. A continuación obraremos en forma opuesta, o sea que, dado un logaritmo, deberá hallarse el número a que corresponde. Pues bien, este número recibe el nombre de *antilogaritmo* del logaritmo dado. Así, $\log_{10} 1000 = 3$, por lo que el antilogaritmo de 3 será 1000, escribiéndose:

$$\text{antilog. } 3 = 1000$$

Es evidente que las dos operaciones (primero buscar el logaritmo y después el antilogaritmo) se complementan, puesto que la determinación del antilogaritmo es siempre el paso final del problema de establecer el resultado de una operación por medio de los logaritmos.

Por ejemplo, sea multiplicar $10 \times 100 \times 1000$. Sabemos que esta operación puede simplificarse operando con los logaritmos de estos números, que se sumarán. En efecto, el logaritmo de 10 es 1, el de 100 es 2 y el de 1000 es 3. Sumando estos logaritmos tenemos: $1 + 2 + 3 = 6$. Ahora viene

la segunda operación, que consiste en determinar el antilogaritmo de 6, o sea qué número tiene por logaritmo a 6. El resultado, evidentemente, deberá tener siete cifras (6 + 1) puesto que el logaritmo tiene como característica un número igual a la cantidad de guarismos menos uno que la parte entera del número dado. En una palabra, en tanto que para hallar la característica del logaritmo se *resta* uno al número de cifras de la parte entera, para hallar el antilogaritmo se *suma* uno al logaritmo.

Resumiendo, el procedimiento para establecer el antilogaritmo de un logaritmo dado es el siguiente:

1) el *antilogaritmo de un número con característica positiva*, se establece recurriendo a la tabla de logaritmos, buscando en ella cual es el antilogaritmo que corresponde a la mantisa del logaritmo dado. Como se puede apreciar, se trata de un proceso inverso al establecido para hallar el logaritmo.

Establecida la mantisa, colocaremos una coma decimal contando tantos lugares, a partir de la derecha, como lo indica el valor de la característica *más 1*.

Ejemplo: sea establecer el antilogaritmo de 1,43136. Buscamos en la tabla de logaritmos y encontramos que la mantisa 0,43136 corresponde al número 2700. Ahora bien, como la característica del logaritmo dado es 1, habrá que proceder a colocar una coma decimal contando dos lugares (1 + 1) a partir de la derecha. Por lo tanto, el logaritmo 1,43136 tiene como antilogaritmo el número 27.

2) El *antilogaritmo de un número negativo* (o sea con característica negativa, puesto que la mantisa es siempre positiva) se obtiene buscando el antilogaritmo de la mantisa en la tabla, en la forma indicada en (1). Si el logaritmo posee dos términos, se halla la característica sumando al número positivo hallado que está antes de la mantisa el número negativo que está después de la misma. Luego se procederá a correr la coma decimal a tantos lugares hacia la izquierda como lo indique la característica resultante. Si hace falta se agregarán ceros.

Ejemplo: Sea determinar el antilogaritmo de 8,9355 — 10. Se comenzará por establecer la diferencia indicada: + 8 — 10 = — 2 que será la característica definitiva del logaritmo dado. A continuación se buscará en la tabla a qué número corresponde la mantisa 0,9355. Veremos que es el número 862. El próximo paso, puesto que la característica dada es — 2, será colocar la coma decimal del antilogaritmo hallado dos lugares hacia la izquierda y tendremos, finalmente:

$$\text{antilog. } 8{,}9355 - 10 = 0{,}0862$$

3) El *antilogaritmo de un logaritmo cuya mantisa no figura en la tabla,* se determina buscando en la misma, la mantisa más aproximada, inferior a la dada, y luego se busca el cociente de dividir la diferencia entre ambas

mantisas por la diferencia tabular (o sea diferencia entre las mantisas más próximas que están a cada lado de la dada). El resultado se suma al número correspondiente, el que luego se modifica de acuerdo con la característica dada.

Ejemplo: Sea determinar el antilogaritmo de 7,54460. Para ello de acuerdo con la tabla:

$$D = 13 \begin{bmatrix} \left.\begin{matrix} 0{,}54456 \\ 0{,}54460 \end{matrix}\right] D' = 4 \\ 0{,}54469 \end{bmatrix}$$

Hallamos el cociente de ambas diferencias:

$$\frac{4}{13} = 0{,}3$$

y sumamos el resultado al antilogaritmo de la primera de las mantisas: Como este antilogaritmo, de acuerdo con las tablas, es 3,504, tendremos

$$\text{antilog. } 0{,}50460 = 3{,}5043$$

y para nuestro caso (antilog. 7,54460) sólo habrá que correr la coma decimal hacia la derecha hasta que el número posea 8 cifras, ya que la característica del logaritmo es 7. Luego:

$$\text{antilog. } 7{,}54460 = 35043000$$

5. ¿Qué es el cologaritmo?

Así como el logaritmo permite abreviar las operaciones, transformando los productos en sumas y las divisiones en restas, el *cologaritmo* facilita más aún las operaciones, ya que permite la transformación de la división también en suma. Tomemos un ejemplo, resolver la siguiente operación indicada por medio de logaritmos:

$$\frac{9729 \times 6575^2 \times \sqrt{2974}}{\sqrt[3]{2614^9}}$$

Primero se comenzará por determinar el logaritmo de 9729, en el numerador. La característica, tratándose de un número de cuatro cifras es 3, y la mantisa, de acuerdo con la tabla de logaritmos, es 0,98807. Luego, $\log_{10} 9729 = 3{,}98807$.

Sigamos con el logaritmo de 6575^2, que de acuerdo con las reglas dadas es igual a $2 \times \log_{10} 6575$. Como el logaritmo de 6575 es 3,8179, el resultado final será: $\log_{10} 6575^2 = 3{,}8179 \times 2 = 7{,}6358$.

El logaritmo de

$$\sqrt{2974}$$

será igual a $\log_{10} 2974/2$ y procediendo en la forma ya estudiada tendremos como resultado 1,73667.

El logaritmo de todo el numerador será igual a la suma de los logaritmos parciales:

$$3{,}98807 + 7{,}63580 + 1{,}73667 = 13{,}36054$$

Ahora pasemos al denominador, cuyo logaritmo será igual al logaritmo de 2614 por 9/3 o sea por 3. Como el logaritmo de 2614 es 3,41731, el resultado final será: $3{,}41731 \times 3 = 10{,}25193$.

A continuación se procederá a restar el logaritmo del denominador del logaritmo del numerador:

$$13{,}36054 - 10{,}25193 = 3{,}10861$$

Este es el logaritmo del número buscado, de modo que para hallar a éste deberemos aplicar las reglas para la determinación del antilogaritmo. Así:

Antilog. 3,10857 1284
" 3,10890 1285

La diferencia tabular es 33. A su vez la diferencia entre la primera de estas dos mantisas y la nuestra (3,10861) es de sólo 4 unidades. Luego:

$$\frac{4}{33} = 0{,}121$$

Esta fracción se sumará al antilogaritmo de 3,10857:

Antilog. 3,10861 = 1284,121

que será el resultado de la operación presentada como ejemplo.

Si queremos abreviar más aún esta operación, podemos emplear el cologaritmo, tal como lo dijimos anteriormente. Para ello, en lugar de restar al logaritmo del numerador el logaritmo del denominador, se procede a *sumar al primero el cologaritmo del segundo.* El procedimiento para hallar el cologaritmo consiste en comenzar por establecer el logaritmo (10,25193 como hemos visto) y, luego se resta de cero, así:

$$\begin{array}{r} -\ 1 + 1{,}00000 \\ -\ 10 + 0{,}25193 \\ \hline -\ 11 + 0{,}74807 \end{array}$$

Obsérvese que en lugar de restar de cero se lo hace de (— 1 + 1) que es lo mismo, pero facilita la operación notoriamente, puesto que de otro modo no podría efectuarse.

Ahora bastará con sumar algebraicamente este cologaritmo del denominador al logaritmo del numerador y tendremos:

$$\begin{array}{r} +\ 13{,}36054 \\ -\ 11{,}74807 \\ \hline +\ 3{,}10861 \end{array}$$

Recuérdese siempre que la característica puede ser negativa o positiva, pero *la mantisa es siempre positiva.*

Obsérvese que el resultado obtenido es el mismo hallado anteriormente, por el método común. Una regla general para la determinación del cologaritmo de un número es la siguiente:

1) se cambia el signo de la característica del número y se le resta 1. Esto nos suministra la característica del cologaritmo.

2) se escribe la diferencia entre 10 y la primera cifra de la derecha de la mantisa del logaritmo, y luego entre 9 y cada una de las restantes cifras. Así se obtiene la mantisa del logaritmo.

6. Logaritmos Neperianos o hiperbólicos.

En muchos casos, en lugar de emplear los logaritmos de *Briggs* o decimales (base 10), se apela a los logaritmos de *Neper*, o hiperbólicos, cuya base es 2,718 y se representa con el subíndice "*e*". Es posible convertir cualquiera de estos logaritmos en el otro en la siguiente forma:

$$\log_{10} n = \log_e n \cdot 0{,}4343$$

$$\log_e n = \log_{10} n \cdot 2{,}3026$$

7. Manejo de las tablas de logaritmos.

En parágrafos anteriores hemos indicado cómo debe manejarse la tabla de logaritmos con el fin de obtener el logaritmo de un número. A continuación agregaremos algunas indicaciones acerca del manejo de las tablas que insertamos al final de este mismo capítulo. Un ejemplo nos permitirá entender mejor el procedimiento a seguir.

Sea, por ejemplo, determinar el logaritmo del número 9729. En la tabla este número no figura, pero en cambio podemos buscar, en la primera columna, el logaritmo del número 97. Una vez fijado este número seguiremos

por la hilera que le corresponde hasta la columna 2 y tendremos el valor de la mantisa de 972, que es 9877. Como nosotros deseamos conocer la mantisa de 9729 y no 972, entonces seguiremos por la misma hilera hasta llegar a la columna 9 de la segunda mitad de la tabla, donde leeremos 4, que es el número que debe sumarse a 9877. Resumiendo, la mantisa de 9729 es 9881 y como la característica es igual a 3, puesto que el número tiene cuatro guarismos, entonces el logaritmo buscado será:

$$\log_{10} 9729 = 3{,}9881$$

TABLAS DE LOGARITMOS COMUNES O DE BRIGGS (BASE 10) Y ANTILOGARITMOS

NÉSTOR GILARDÓN

TABLA I

LOGARITMOS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3858	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13

30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7

TABLA I (cont.)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5

75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9352	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4

TABLA II

ANTILOGARITMOS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3

20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6

TABLA II (cont.)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3676	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10

70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	4	5	7	9	10	12	14	16
88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

CAPITULO II

EL DECIBEL

La Milla de Cable Normal (MSC) — La Milla/800 ciclos — La Unidad de Transmisión — El decibel (dB) — El neper — Tabla para la conversión de decibeles a nepers y viceversa — El decibel para expresar la relación de tensiones e intesidades — Relación cuando las resistencias de los circuitos de entrada y salida son iguales — Relación cuando los circuitos de entrada y salida son impedancias — El neper para expresar relaciones de tensiones e intesidades — El "dBVg" o decibeles de ganancia de tensión — Limitaciones en el uso de la unidad decibel — Elaboración de las tablas de decibeles — Ejemplos prácticos — Métodos prácticos para facilitar los cálculos — Decibeles negativos — Operaciones con decibeles negativos — Manejo de la tabla de decibeles — Empleo de la regla de cálculo para obtener la relación en decibeles.

APENDICE: Tablas de decibeles· N° 1) Dados los decibeles encontrar las relaciones de potencias, tensiones e intesidades; N° 2) continuación; N° 3) Dada la relación de potencias, tensiones e intensidades, determinar los decibeles que correponden; N° 4) continuación.

El *decibel* constituye una unidad creada por los ingenieros de la *Bell Telephone System* (EE. UU.), ante la necesidad de tener que solucionar algunos problemas importantes, que se presentaban en las líneas, durante la transmisión de señales desde una estación a otra. En estas líneas se producían, como es lógico, efectos de atenuación (pérdidas de energía), haciéndose necesario, por lo tanto, establecer una unidad que permitiese expresar con certeza esta reducción de potencia, a la salida de la línea, en relación con la entrada.

1. La Milla de Cable Normal.

Muchos fueron los intentos efectuados para establecer tal unidad, habiendo sido el primero de ellos la proposición de emplear la *"Milla de Cable Normal"* (que se conoce como *M.S.C.*, del inglés: Mille of Standard Cablc). Representaba esta unidad, la atenuación experimentada, en una milla de alambre N° 19, por una señal de frecuencia igual a la voz común, siendo las constantes de este cable las siguientes: 88 Ω de resistencia y 0,054μ F de capacidad.

Si bien en un principio el empleo de esta unidad contribuyó a solucionar algunos problemas, pronto se pudo ver que dejaba otros sin resolver. La razón estaba en que la atenuación en las líneas no era constante, sino función de la frecuencia. Se volvió, por lo tanto, a buscar una unidad de atenuación de mayor precisión.

2. La Milla - 800 ciclos.

Los estudios consiguientes condujeron a la unidad que se denominó "*Milla-800 ciclos*", que representaba la pérdida experimentada, en una milla de alambre N° 19 a una frecuencia de corriente de 800 c/s, valor este último correspondiente a la frecuencia en que se concentra la mayor parte de la energía puesta en juego por la voz humana.

Lamentablemente, tampoco esta unidad resolvió íntegralmente el problema, puesto que si bien, en un principio, pareció constituir la solución buscada, resultó inadecuada cuando se amplió la gama de las frecuencias transmitidas.

3. La Unidad de Transmisión.

Volviendo al tapete el problema, fué la *Bell Telephone Company*, tal como lo hemos dicho, la que resolvió, en 1924, tan serio como difícil problema. Partieron los ingenieros de esta compañía, del hecho comprobado de que si por diez millas de cable normal circula una corriente de 886 c/s, la atenuación que tiene lugar es igual, precisamente, a diez. En una palabra:

$$\frac{P_1}{P_2} = 10$$

siendo P_2 la potencia de salida y P_1 la potencia de entrada.

De acuerdo con esto, la atenuación producida por una sola milla de cable normal, a la frecuencia consignada, es de:

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{1}{10}} \qquad (1)$$

A este valor de atenuación se lo tomó como unidad, denominándoselo *Unidad de transmisión* (U.T.), demostrando la práctica que permitía solucionar perfectamente, y en forma simple, los problemas planteados.

4. El decibel.

Más tarde, y en honor al insigne investigador *Graham Bell*, inventor del teléfono, la unidad de transmisión recibió el nombre de *decibel* (abreviado dB).

La expresión (1) puede escribirse, asimismo, para el caso de la atenuación que se produce en 2 millas de cable normal, a la frecuencia de 886 c/s:

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{2}{10}}$$

puesto que la atenuación total será igual al producto de las atenuaciones parciales:

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{1}{10}} \times 10^{\frac{1}{10}} = 10^{\frac{2}{10}}$$

y para el caso de n millas:

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{n}{10}}$$

o sea que la atenuación total puede obtenerse escribiendo una potencia de base 10, cuyo exponente sea igual al número de millas dividido por 10, o lo que es lo mismo, al número de decibeles dividido 10, puesto que el decibel es, por definición, la atenuación experimentada en *una milla de cable.*

Ahora bien, como el exponente $n/10$ es, por definición, el logaritmo decimal de (P_1/P_2) puesto que el logaritmo decimal de un número es el exponente a que hay que elevar la base 10 para obtener dicho número, entonces es claro que podemos escribir:

$$\frac{n}{10} = \log_{10}\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

De esta expresión podemos despejar el valor de la atenuación n:

$$n = 10 \log_{10}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \tag{1-B}$$

Resumiendo: la atenuación, en decibeles, se obtiene multiplicando por 10 el logaritmo decimal de la relación entre las potencias de entrada y de salida.

5. El Neper.

En lugar de operar con el logaritmo de base 10, es posible hacerlo, asimismo, con el logaritmo natural de base e (2,7182) recibiendo, la unidad de atenuación, entonces, el nombre de *neper*. La relación entre el decibel y el neper es la siguiente:

1 neper = 8,686 decibel
1 decibel = 0,1151 neper

Con el fin de facilitar la conversión de decibel a neper y viceversa, presentamos el ábaco de la fig. 2.

La fórmula (1-B) en el caso del neper, se convierte en:

$$n = 0{,}5 \log_e\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

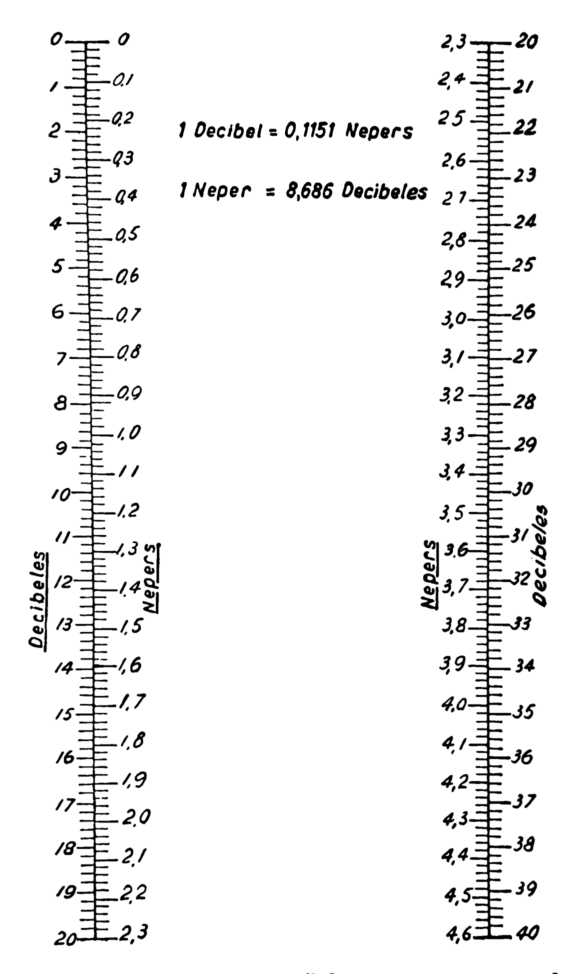


Fig. 2. — Ábaco para conversión de decibeles a nepers y nepers a decibeles.

6. El decibel para expresar relación de tensiones e intensidades.

De lo estudiado anteriormente, llegamos a la conclusión de que el decibel constituye la expresión logarítmica de la relación entre dos *potencias*. Este concepto de que el decibel es una *unidad de relación*, y no de *medida absoluta*, es muy importante y debe ser bien fijado, para no incurrir en errores de interpretación en la solución de los problemas que se presenten. Así, por ejemplo, establecer que la potencia de salida de un amplificador es de 20 decibeles no tiene ningún significado; en cambio, decir que la salida es de (+ 20) dB en relación con la potencia de entrada, significa que tal potencia de salida es, como ya lo veremos más adelante, 100 veces mayor que la de entrada.

Más aún, sea un amplificador cuya potencia de salida es de 0,5 watt y la de entrada 1 watt. Expresado ello en decibeles, diremos que la atenuación es de 3 dB. Si ahora tomamos otro amplificador, donde los valores son 1 watt y 2 watt respectivamente, diremos que aquí la atenuación es también de 3 dB, puesto que la relación entre las potencias de entrada y salida sigue siendo 2, como antes. Y lo mismo sucedería si los valores fuesen 20 watt y 10 watt, ó 1000 watt y 500 watt, respectivamente, puesto que *la relación* de potencias continúa manteniéndose en 2.

Todo lo dicho nos demuestra lo que hemos establecido anteriormente: *que el decibel es una unidad de relación entre dos potencias, pero no de la medida efectiva de las mismas.*

A pesar de que la relación se efectúa siempre entre *dos potencias*, resulta claro que también puede efectuarse entre dos tensiones o dos intensidades, ya que la potencia, en un circuito eléctrico, puede ser determinada por medio de alguna de las siguientes fórmulas:

$$P = I^2 R \tag{2}$$

$$P = \frac{E^2}{R} \tag{3}$$

Bastará con reemplazar P, de la ecuación (1), por cualquiera de los segundos miembros de las fórmulas (2) y (3), para obtener el resultado, en decibeles, de la relación entre dos tensiones o intensidades, respectivamente. Así, tendremos:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{I_1^2 R_1}{I_2^2 R_2} \right) \tag{4}$$

para el caso de las intensidades. Como puede verse, *es necesario tener en cuenta las resistencias* sobre las cuales se miden estas intensidades, puesto que, de otro modo, la expresión anterior *no tendría significado alguno*. En el caso especial de que las dos resistencias, la de entrada y salida, sean iguales, la expresión anterior puede simplificarse, convirtiéndose en esta otra:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{I_1^2}{I_2^2} \right) \tag{5}$$

Puesto que ya sabemos que el logaritmo de un número elevado al cuadrado es igual al duplo del logaritmo de la base, la expresión anterior puede escribirse en la siguiente forma:

$$n = 20 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \tag{6}$$

Aplicando los mismos conceptos al caso de la relación entre dos tensiones, tendremos las siguientes expresiones, para suministrar el resultado en decibeles:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{E_1^2/R_1}{E_2^2/R_2}\right) \tag{7}$$

que se puede escribir, asimismo:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{E_1^2\, R_2}{E_2^2\, R_1}\right) \tag{8}$$

o bien:

$$n = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \tag{9}$$

Obsérvese que, en el numerador de (8) se multiplica el cuadrado de la tensión desarrollada en el circuito de salida por la resistencia del circuito de entrada, en tanto que en el denominador se efectúa el producto del cuadrado de la tensión del circuito de entrada por la resistencia del circuito de salida. Se trata de una pequeña trampa, que de no tenerse en cuenta puede provocar serios errores.

Cuando las resistencias de los circuitos de entrada y de salida son iguales, la fórmula anterior se convierte en esta otra:

$$n = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) \tag{10}$$

Hasta ahora hemos considerado que los circuitos de entrada y de salida son resistencias puras. Veamos, ahora, qué sucede cuando son impedancias. En este caso, si las dos impedancias son desiguales, intervendrá en forma importante, en los resultados, el *factor de potencia*, que expresa la relación entre la reactancia y la resistencia. Si representamos a las impedancias por Z_1 y Z_2 y a los factores de potencia por Φ_1 y Φ_2, podremos escribir:

$$n = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2}\right) \tag{11}$$

y para el caso de la relación de intensidades:

$$n = 20 \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) + 10 \log_{10}\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right) + 10 \log_{10}\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2}\right) \qquad (12)$$

7. El Neper para expresar relaciones de tensiones e intensidades.

Si se emplea el neper en lugar del decibel, la relación de tensiones será igual a:

$$n = \log_e\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

y la relación de intensidades:

$$n = \log_e\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

Ambas expresiones se consideran referidas a circuitos de entrada y salida de iguales valores de resistencia.

8. El "dBvg": decibeles de ganancia de tensión.

A pesar de que el decibel constituye una unidad de relación de potencias, y no otra cosa, se ha propuesto emplear, arbitrariamente, la relación

$$n = 20 \log_{10}\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

para expresar la ganancia de tensión de un amplificador en decibeles.

Es importante distinguir estos *decibeles de tensión* de los *decibeles de potencia,* que tienen un significado completamente distinto. Se ha sugerido la abreviatura *"dBvg"* (decibels of voltage gain) que significa *"decibeles de ganancia de tensión"*.

Algunos ingenieros expresan la ganancia de un amplificador en función de la tensión tomando E_2 como la tensión del generador en circuito abierto, (fig. 3). Si la resistencia de carga del generador (R_1) es igual a la resistencia interna del generador (R), la ganancia indicada por este método será 6 dB menos que la dada mediante la expresión más arriba presentada. Si R_2 es mayor de $10R$, ambos métodos darán aproximadamente el mismo resultado.

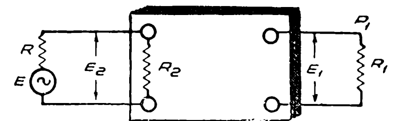


Fig. 3. — Ganancia para E_2 igual tensión en circuito abierto.

9. Limitaciones en el uso del decibel.

V.V.L. Rao (The decibel notation), establece claramente que la unidad decibel no es adecuada para todas las clases de trabajos en los sistemas de comunicaciones, y que sus limitaciones son las siguientes:

1) sólo debe emplearse para efectuar cálculos de ganancias o pérdidas de un sistema cuyo nivel de ruido no varíe entre muy amplios límites. Los tres siguientes ejemplos aclaran el porqué de esta sentencia:

(*a*) un circuito amplificador puede captar una considerable cantidad de ruidos además de la correspondiente señal de entrada. De este modo, a pesar de que el amplificador puede mostrar una gran salida, ello puede no ser debida a la señal sino al ruido agregado, de modo que la expresión de la ganancia en decibeles no sería la expresión real de la ganancia de la señal. Más aún, debido a la sobrecarga, puede suceder que la ganancia baje considerablemente.

(*b*) cuando un amplificador es sobrecargado, no sólo se produce una reducción de su salida, sino que también se produce deformación. Esta última puede expresarse mejor como el valor eficaz de las amplitudes de las tensiones de las frecuencias no deseadas, siendo lo usual expresar las mismas como un porciento de la amplitud de la frecuencia fundamental. La deformación no puede expresarse adecuadamente en decibeles; ni tampoco la atenuación puede expresarse en decibeles después de haberse pasado por el punto de sobrecarga, porque ello no tendría ningún significado.

(*c*) En el caso de ondas cortas, debido al desvanecimiento de la señal, la intensidad varía mucho de instante a instante. En tal caso, no tendría ningún valor expresar la ganancia en decibeles debido a la tensión sumamente variable que se tendría aplicada, a cada instante, a la entrada.

2) No es conveniente cuando se trata con dispositivos que involucren grandes potencias eléctricas. Por ejemplo, consideremos un sistema eléctrico que recibe 100 KW y entregue solamente 75 KW. Su rendimiento será del 75 % o sea ¼ de la entrada. Si expresamos ello en decibeles, tendremos:

$$10 \log_{10} \left(\frac{75}{100}\right) = -1{,}25 \text{ dB}$$

valor que suministra una impresión de una pérdida muy pequeña, cuando en realidad se ha perdido una enorme parte de la potencia entregada.

3) La notación decibel es útil solamente para juzgar los aconteceres que tienen relación con nuestros sentidos, debido a que ellos responden

a una ley logarítmica, tal como ya lo veremos. Pero todos aquellos resultados que son juzgados solamente por medio de procesos mentales directos, deberan ser expresados mediante una *ley lineal*, en lugar de una *ley logarítmica*, puesto que es un hecho de que el ser humano está acostumbrado a comparar direçtamente, visualizando diferencias aritméticas en lugar de relaciones, en los cálculos comunes de la mayor parte de las cantidades físicas, tales como longitud, masa, tiempo, etc.

N. H. Crowhurst (Feedback, Norman Price Ltd, Londres) establece que en los cálculos que involucren circuitos con realimentación negativa o positiva, es posible aplicar el decibel, pero en cierto modo es más sencillo pensar en lo que sucede en función de "relaciones". Los decibeles pueden emplearse como términos de referencia, pero la relación correspondiente debe tenerse muy en cuenta para tener una idea de lo que está sucediendo.

La razón de que es mejor tomar en cuenta la relación que la expresión de la misma en decibeles se deduce del siguiente ejemplo (loc. citada). Sabemos que la ganancia en un amplificador con realimentación positiva está dada por la expresión:

$$A' = \frac{A}{(1 - A\beta)}$$

donde A' = ganancia con realimentación, A = ganancia sin realimentación, β = porciento de realimentación. Supongamos que en el denominador (la tensión realimentada) se eleva de $^3/_4$ a $^7/_8$, entonces la ganancia del amplificador con realimentación pasará de:

$$\frac{A}{1 - \left(\frac{3}{4}\right)} = \frac{A}{\frac{1}{4}} = 4A$$

al siguiente valor:

$$\frac{A}{1 - \left(\frac{7}{8}\right)} = \frac{A}{\frac{1}{8}} = 8A$$

El cambio en la tensión realimentada es de sólo:

$$\frac{7/8}{3/4} = \frac{28}{24} = \frac{7}{6}$$

valor que expresado en decibeles corresponde a 1,3 dB, en tanto que la ganancia del amplificador ha experimentado un cambio de 2 : 1

o sea 6 dB. De hecho, un aumento posterior de tensión realimentada de 1,2 dB hará que la ganancia del amplificador se eleve al infinito entrando el circuito en oscilación. Una ganancia de 1 dB más lleva la tensión realimentada a una relación de 0,98, elevando la amplificación a 50 A, lo que representa un aumento de 16 dB sobre 8 A. De lo expresado puede deducirse que las relaciones en dB no son muy útiles, siendo las relaciones reales las que interesan.

10. Tablas de decibeles.

En los parágrafos anteriores hemos definido a la unidad decibel; presentamos, luego, la fórmula que nos permite expresar, en esta unidad, a la relación entre dos potencias y, finalmente, hicimos extensiva esta relación a las tensiones e intensidades. Corresponde, ahora, completar estos conocimientos con algunas nociones acerca de cómo operar con esta unidad y cómo interpretar los resultados obtenidos.

Cuando definimos al decibel, dijimos que:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \tag{13}$$

Por lo tanto:

$$\log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{n}{10}\right) \tag{14}$$

Si ahora hacemos a $n = 1$, entonces:

$$\log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 0,1$$

Recurriendo a las tablas de logaritmos, podremos establecer que el antilogaritmo de 0,1 es 1,256, cosa que nos dice que: *Un decibel representa una relación de potencias de 1,256.*

Para el caso de una relación de tensiones (o intensidades), la expresión (14) se convierte en esta otra:

$$\log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) = \frac{n}{20} \tag{15}$$

y haciendo a $n = 1$, como antes:

$$\log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) = \frac{1}{20} = 0,05$$

que, de acuerdo con las tablas, tiene como antilogaritmo a 1,12, lo que nos dice que: *Un decibel representa una relación de tensiones (o intensidades) de 1,12 veces.* Esto quiere decir que si los dos circuitos comparados poseen iguales resistencias, una relación de tensiones de 1,12 veces representa una diferencia de niveles de 1 dB.

Si procedemos a reemplazar a n por diversos valores sucesivos, podremos confeccionar una tabla como la siguiente:

TABLA III

DECIBELES Y RELACIONES DE POTENCIA Y TENSIONES

dB	Relación de potencias	Relación de tensiones
0	1,00	1,00
+ 1	1,26	1,12
+ 2	1,58	1,26
+ 3	2,00	1,41
+ 5	3,16	1,78
+ 10	10,00	3,16
+ 20	100,00	10,00
+ 30	1000,00	31,62

Es conveniente que el estudiante aprenda de memoria, esta pequeña tabla, puesto que ello le facilitará la realización de la mayor parte de los cálculos mentales que involucren decibeles.

De la tabla anterior puede deducirse, por otra parte, que:

1) la relación de tensiones (sobre circuitos de resistencias iguales) es siempre igual a la raíz cuadrada de la relación de potencias. Así, 5 dB representan una relación de potencias de 3,16 o una relación de tensiones de

$$\sqrt{3,16} = 1,78.$$

2) para una misma relación, se necesita doble cantidad de decibeles en el caso de tensiones que en el de potencias. Así, para una relación de 2 en potencias se necesitan 3 dB, pero para una relación igual de tensiones se necesitan 4 dB.

3) cada vez que la potencia se duplica se aumentan 3 decibeles. Para duplicar la relación de tensiones de acuerdo con lo expresado en (2), se necesitarán 6 dB.

Además de estas tres interesantes características de la operación con decibeles, debe recordarse también esta otra:

4) mientras los decibeles se *suman*, las respectivas ganancias que representan se *multiplican*.

11. Ejemplos prácticos.

Veamos algunos ejemplos prácticos, que nos permitirán fijar mejor los conceptos vertidos. ¿Cuál será la ganancia de tensión de un amplificador (fig. 4) que posee una amplificación de 50 veces en su primera etapa, de 30

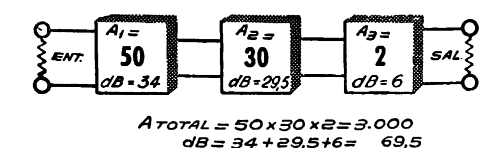


Fig. 4. — Cálculo de la ganancia de un amplificador.

en la segunda y 2 en la tercera? El resultado se obtendrá multiplicando, simplemente, los valores suministrados entre sí, a saber:

$$A = 50 \times 30 \times 2 = 3000$$

Si queremos expresar esta ganancia en decibeles, tendremos que proceder así:

Ganancia (×)	Decibeles (+)
50	34,0
30	29,5
2	6,0
3000	69,5

lo que nos dice que la ganancia de 3000 veces representan 69,5 dB sobre el nivel primitivo. Esto es válido, desde luego, siempre que las resistencias de carga sean exactamente iguales, a la entrada y salida de cada etapa. En caso contrario habrá que aplicar un factor de corrección, como ya lo veremos, para obtener la relación en decibeles.

Esta ganancia es de *tensión*, pero los 69,5 dB representan, asimismo, la ganancia de *potencia*, salvo que, ahora, la relación entre los niveles de entrada y salida no será de 3000 veces, sino de:

$$n = 3000^2 = 9.000.000$$

puesto que la relación de potencias es igual al cuadrado de la relación de tensiones.

Este ejemplo, que hemos desarrollado, nos permite deducir un interesante y sencillo método para efectuar cualquier cálculo rápido que involucre decibeles. Así, supongamos que deseamos establecer la relación de potencias que representan 68 dB. Para ello, comenzaremos por descomponer esta cifra en varios sumandos, tratando que los mismos formen parte de la tabla III presentada más atrás. Así:

Decibeles =	Ganancia =
60	1.000.000
+ 5	× 3,16
+ 3	× 2
= 68	= 6.320.000

Como puede verse, los valores parciales en decibeles se suman, en tanto que los correspondientes valores de amplificación se multiplican. En el ejemplo anterior, la ganancia obtenida se refiere a potencia; para establecer la ganancia de tensión habrá que extraer la raíz cuadrada del resultado calculado, teniendo siempre en cuenta lo dicho más atrás acerca de las resistencias. La siguiente tabla, complementaria de la presentada más atrás, nos permitirá simplificar más aún las operaciones que involucren decibeles:

TABLA IV

DECIBELES Y RELACION DE POTENCIAS

Decibeles	Relación de potencias
10	10
20	10^2
30	10^3
40	10^4
50	10^5
60	10^6

Esta tabla nos permite deducir otras dos reglas sumamente útiles:

1) dada una relación de potencias, que es un múltiplo exacto de 10, su expresión en decibeles se obtendrá escribiendo la relación en forma de potencia de base diez y multiplicando, luego, la base por el exponente.

Así, una relación de potencias de 1000 se escribirá, primero 10^3 y, luego, se multiplicará 10 × 3, siendo el resultado (30) la expresión de la relación de potencias en decibeles.

2) *Dada una relación de potencias en decibeles, para hallar la ganancia de potencia que representa se procederá a dividir los decibeles por 10 y el resultado será el exponente de una potencia con base 10. Así, para establecer qué ganancia de potencia representan 50 dB, se comenzará por dividir 50 por 10 y el resultado (5) será el exponente de una potencia con base 10, o sea la ganancia será igual a 10^5.*

12. Decibeles negativos.

Hasta ahora todo el desarrollo ha sido efectuado considerando que, en el circuito de salida existe una tensión o una potencia mayor que en el de entrada. Evidentemente, también puede presentarse el caso contrario, propio de un proceso de atenuación. En cualquiera de las dos circunstancias, el resultado en decibeles será el mismo, pero en el primer caso (ganancia), delante del número de dB se agregará el signo (+), en tanto que en el segundo se utilizará el signo (—). En una palabra, tendremos "*decibeles positivos*" en el caso de expresar una ganancia, y "*decibeles negativos*" en el caso de una atenuación.

Con respecto a los decibeles negativos, conviene tener presente la siguiente tabla de relaciones de potencias y tensiones, menores que la unidad:

TABLA V

DECIBELES NEGATIVOS Y RELACION DE POTENCIAS Y TENSIONES

Decibeles	Relación de potencias	Relación de tensiones
— 1	0,794	0,891
— 2	0,631	0,794
— 3	0,501	0,708
— 5	0,316	0,562
— 10	0,100	0,316
— 20	0,010	0,100
— 30	0,001	0,032

En relación con los decibeles negativos, en el transcurso de muchos problemas nos encontraremos con operaciones como la siguiente:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{600}{10.000} \right) \qquad (1)$$

es claro que, en este caso, siendo el numerador menor que el denominador, el logaritmo será un número decimal con la parte entera igual a cero y, por lo tanto, los decibeles que obtendremos serán negativos. En la práctica, esta operación puede resolverse, en forma simple, invirtiendo el numerador y el denominador y realizando el proceso clásico. Finalmente, al resultado obtenido se le antepondrá el signo negativo. En una palabra, la operación anterior se efectuará así:

$$dB = 10 \log_{10}\left(\frac{10.000}{600}\right) = 12 \text{ dB} \tag{2}$$

y al resultado se le antepondrá el signo negativo (= — 12 dB). Esto es lógico, puesto que una potencia de 10.000 watt relacionada con otra de 600 watt, representa una ganancia de 12 dB, en tanto que una potencia de 600 watt relacionada con otra de 10.000 watt representa una *atenuación* de igual cantidad de dB.

Lo anterior es sencillo en sí mismo, pero exige que se tenga en cuenta la inversión del signo del resultado. Es obvio que también puede realizarse la operación sin necesidad de invertir el numerador y el denominador, pero en este caso no debe caerse en una frecuente "trampa", en la que se incurre fácilmente. En efecto, realizando la operación indicada en (1), tendremos:

$$dB = 10 \log_{10} 0{,}06$$

o sea:

$$dB = 10 \times (-2{,}778)$$

Y ahora llega el momento delicado, puesto que la mayor parte de los recién iniciados tratarán de resolver la operación de la siguiente manera:

$$dB = -27{,}78$$

cosa que es absolutamente falsa, puesto que no hay que olvidar que, en los logaritmos, solamente la característica puede ser negativa, pero nunca la mantisa. La operación debe resolverse independientemente para las dos partes del logaritmo, o sea:

a) $10 \times (-2) = -20$

b) $10 \times 0{,}778 = +7{,}78.$

El resultado final será la suma algebraica de los resultados parciales:

$$dB = -20 + 7{,}78 = -12{,}22$$

Como puede apreciarse, el resultado coincide con el obtenido en (2), pero el signo de la operación aparece negativo directamente.

Lo mismo que acabamos de exponer con respecto al logaritmo, es válido para la determinación del antilogaritmo de un número. Sea, por ejemplo, la siguiente expresión:

$$-dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{0{,}006} \right)$$

de la que podemos deducir esta otra:

$$P = \text{antilog.} \left(\frac{-dB}{10} \right) \times 0{,}006 \qquad (3)$$

que permite establecer el valor de la potencia de salida, partiendo de la salida en decibeles. En realidad, los cálculos a realizar son sumamente sencillos, pero no se debe caer en el error de dividir los decibeles por 10, tal como si se tratase de un número positivo cualquiera. Así, suponiendo que en esta fórmula dB = — 57 db., no se deberá escribir directamente:

$$\frac{-57}{10} = -5{,}7 \text{ dB},$$

sino en la siguiente forma: (— 60 + 3), partiendo del hecho de que si a un número se le suma y se le resta la misma cantidad, el resultado no varía. De acuerdo con esto, a (— 57) le podemos sumar (— 3) y luego (+ 3) con lo que tendremos:

$$(-57 - 3 + 3) = -60 + 3$$

En esta forma, hemos convertido a los decibeles negativos en un número que posee una parte negativa y una parte positiva. Dividiendo, ahora, por 10, tendremos:

$$\left(\frac{-60 + 3}{10} \right) = -6 + 0{,}3$$

o sea, en definitiva (— 6,3). A continuación, se determinará el antilogaritmo de este resultado, que será 0,000002. La expresión (3) quedará resuelta, finalmente, en la siguiente forma:

$$P = 0{,}000002 \times 0{,}006$$

$$= 12 \times 10^{-9} \text{ watt}$$

13. Manejo de la tabla de decibeles.

Todos los problemas que involucran operaciones con decibeles, pueden resolverse rápidamente recurriendo a las tablas de las páginas 59 á 62.

Así, las tablas VI y VII permiten establecer cualquier valor de relación de tensiones (o intensidades y potencias) para un valor dado en decibeles. La tabla VIII suministra el resultado, en decibeles, de cualquier valor dado de relación de potencias, tensiones o intensidades. La tabla IX es una continuación de la anterior.

Estas tablas facilitan, asimismo, la determinación de valores de relación correspondientes a decibeles negativos. Así, en las tablas VI y VII se utilizarán las dos columnas de la derecha para las relaciones correspondientes a decibeles positivos, en tanto que las dos columnas de la izquierda son para relaciones resultantes de decibeles negativos. Así, por ejemplo, la relación de potencias que corresponde a (+ 4,0) dB es 2,512, en tanto que para el caso de (— 4,0) dB es 0,3981.

Veamos, ahora, cómo pueden utilizarse estas tablas para el caso de valores no incluídos en las mismas.

I) Buscar la relación de potencias correspondientes a 158 dB. — Se comienza por dividir a 158 en los siguientes sumandos: 100 + 50 + 8 y, luego, se busca en la tabla las relaciones de potencia correspondientes a estos niveles; así tenemos:

100 dB	10^{10}
50 dB	10^{5}
8 dB	6,31

De modo que la relación de potencias correspondiente a 158 dB será:

$$n = 10^{10} \times 10^{5} \times 6{,}31 = 631 \times 10^{13}$$

Como puede apreciarse no se trata más que de la aplicación del principio de que "los decibeles se suman, en tanto que las respectivas relaciones se multiplican".

II) Determinar los decibeles correspondientes a una relación de potencia de 631 $\times$ *10^{13}.* — Se comenzará por establecer los decibeles correspondientes a una relación de 6,31 que según la tabla es de 16,001 dB. Pero debe tenerse en cuenta que esta relación es de "*tensiones*", de modo que para el caso de "*potencias*" habrá que dividir por dos, puesto que se necesita la mitad de decibeles para una relación de potencias que para una relación de tensiones. Por lo tanto:

$$\text{Relación de potencias } 6{,}31 = 8 \text{ dB}$$

Como 631 (el número dado en el problema) representa una relación de 100 con respecto a 6,31, habrá que agregar 20 decibeles más. Luego:

$$\text{Relación de potencias } 631 = 20 + 8 = 28 \text{ dB}$$

Ahora corresponde completar el problema buscando la relación correspondiente a 10^{13}. Esto es fácil, puesto que basta con multiplicar la base por el exponente, o sea $10 \times 13 = 130$ dB. Finalmente, tenemos:

$$28 + 130 = 158 \text{ dB}$$

III) Determinar los decibeles correspondientes a una relación de tensiones de 0,08. — Como en la tabla no figura este valor, se buscarán los decibeles correspondientes a la relación de tensiones 8, que da como resultado 18. Luego, como entre 0,08 y 8 existe una relación de 0,01 y en tensiones tal relación representan (— 40) dB, tendremos finalmente:

$$\textit{Relación de tensiones}: 0{,}08 = +18 - 40 = -22 \text{ dB}$$

IV) Determinar la relación de tensiones correspondientes a (— 22) dB. — Se comenzará por establecer la relación de tensiones correspondiente a (— 20) dB, que es, según la tabla, 10^{-1}. Luego se determinará la relación de tensiones correspondiente a — 2 dB, que es 0,7943. Finalmente tendremos:

$$-22 \text{ dB} = 0{,}7943 \times 10^{-1} = 0{,}07943$$

14. Empleo de la regla de cálculo para obtener relación en decibeles.

La escala *L*, que figura en la parte superior de la regla, permite efectuar todo cálculo que involucre logaritmos, puesto que contiene las *mantisas* de todos los números que entran a formar parte de la escala *D*. Así, por ejemplo, para establecer la mantisa del número 1915, se marca el mismo en la escala *D*, mediante la línea de fe del cursor. Tal como puede verse, el resultado es 0,282, puesto que la línea de fe corta, al mismo tiempo, en 0,282 a la escala *L*. Como la característica se obtiene mentalmente, el resultado será:

$$\log_{10} 1915 = 3{,}282$$

Si el número cuyo logaritmo se desea obtener es menor que la unidad, por ejemplo 0,356, entonces se buscará, en la escala de mantisas *L*, el valor correspondiente a 356, que es 552. Como la característica es, en este caso, igual a $\bar{1}$, el resultado final será:

$$\log_{10} 0{,}356 = \bar{1}{,}552$$

Para establecer el *antilogaritmo* de un número, procederemos en forma opuesta, o sea que marcaremos la mantisa en la escala *L* y buscaremos el valor absoluto del antilogaritmo en la escala *D*. Así, por ejemplo, buscar el antilogaritmo de 3,282. Comenzaremos por fijar la mantisa en la escala *L*. Siguiendo la línea de fe encontramos en la escala *D* el número 1915, que es el buscado, puesto que una característica 3 corresponde a un número

que posee $3 + 1 = 4$ cifras. Si la característica fuese 5, entonces el número tendría que tener 6 cifras, por lo que el resultado buscado sería 191500. En cambio, si la característica fuese 2 entonces el número buscado (antilogaritmo) sería 191,5.

Una vez establecido el logaritmo de la relación dada, bastará con multiplicarlo por 10 (relación de potencias) o por 20 (relación de tensiones) para hallar el nivel en decibeles.

Si se tiene una regla de cálculo del tipo *"log-log"*, el método para hallar el nivel en decibeles, de una relación dada, es el siguiente: se ajusta la línea

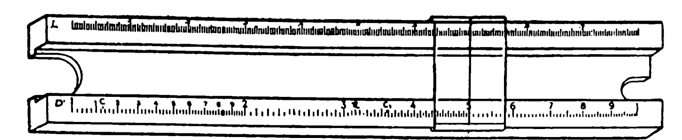


Fig. 5. — Modelo común de regla de cálculo.

de fe de modo de indicar 10 en la escala LL_3. En oposición colóquese la relación de potencias en la escala LL_2 y búsquese la ganancia en decibeles en *C*. Si la relación de potencias es mayor de 10, todos los valores encontrados en *C* están entre 10 y 100. Si es menor de 10, la escala *C* puede leerse directamente.

Para hallar los decibeles partiendo de la relación de tensiones, se coloca 2 en la escala *C*, enfrentando con 10 en LL_3. Los decibeles se encontrarán en la escala *C*. Si la relación de tensión se halla entre 1 y π (3,1416), la ganancia en dB correspondiente es entre 1 y 10. Si la relación excede de 3,1416, multiplíquese la indicación arrojada en *C* por 10.

Cuando deben convertirse relaciones de potencia menores de 1 a decibeles, colóquese 1 (centro de la escala *B*) en 0,10 en la escala LL_0. La pérdida se halla en *B*, en oposición a la relación de potencia en LL_0. Para relaciones de tensión, dispóngase 2, en la escala *B*, frente a 0,10 en la escala LL_0 y procédase como antes.

Para hallar directamente la ganancia en dB, partiendo de dos valores de tensión o potencia, colóquese el valor mayor en *C*, frente al valor menor en *D*. En oposición al índice de *C*, se hallarán los decibeles en *L*.



TABLAS DE DECIBELES

TABLA VI

DADOS LOS DECIBELES ENCONTRAR LAS RELACIONES DE POTENCIAS, TENSIONES E INTENSIDADES

$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	dB	$\frac{I_1}{I_2}$ $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	dB	$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
1,0000	**1,0000**	**0**	**1,000**	**1,000**	**0,5623**	**0,3162**	**5,0**	**1,778**	**3,162**
0,9886	0,9772	0,1	1,012	1,023	.5559	.3090	5,1	1,790	3,236
.9772	.9550	.2	1,023	1,047	.5495	.3020	5,2	1,820	3,311
.9661	.9333	.3	1,035	1,072	.5433	.2951	5,3	1,841	3,388
.9550	.9120	.4	1,047	1,096	.5370	.2884	5,4	1,862	3,467
.9441	.8913	.5	1,059	1,122	.5309	.2818	5,5	1,884	3,548
.9333	.8710	.6	1,072	1,148	.5248	.2754	5,6	1,905	3,631
.9226	.8511	.7	1,084	1,175	.5188	.2692	5,7	1,928	3,715
.9120	.8318	.8	1,096	1,202	.5129	.2630	5,8	1,950	3,802
.9016	.8128	.9	1,109	1,230	.5070	.2570	5,9	1,972	3,890
.8913	**.7943**	**1,0**	**1,122**	**1,259**	**.5012**	**.2512**	**6,0**	**1,995**	**3,981**
.8810	.7762	1,1	1,135	1,288	.4955	.2455	6,1	2,018	4,074
.8710	.7586	1,2	1,148	1,318	.4898	.2399	6,2	2,042	4,169
.8610	.7413	1,3	1,161	1,349	.4842	.2344	6,3	2,065	4,266
.8511	.7244	1,4	1,175	1,380	.4786	.2291	6,4	2,089	4,365
.8414	.7079	1,5	1,189	1,413	.4732	.2239	6,5	2,113	4,467
.8318	.6918	1,6	1,202	1,445	.4677	.2188	6,6	2,138	4,571
.8222	.6761	1,7	1,216	1,479	.4624	.2138	6,7	2,163	4,677
.8128	.6607	1,8	1,230	1,514	.4571	.2089	6,8	2,188	4,786
.8035	.6457	1,9	1,245	1,549	.4519	.2042	6,9	2,213	4,898
.7943	**.6310**	**2,0**	**1,259**	**1,585**	**.4467**	**.1995**	**7,0**	**2,239**	**5,012**
.7852	.6166	2,1	1,274	1,622	.4416	.1950	7,1	2,265	5,129
.7762	.6026	2,2	1,288	1,660	.4365	.1905	7,2	2,291	5,248
.7674	.5888	2,3	1,303	1,698	.4315	.1862	7,3	2,317	5,370
.7586	.5754	2,4	1,318	1,738	.4266	.1820	7,4	2,344	5,495
.7499	.5623	2,5	1,334	1,778	.4217	.1778	7,5	2,371	5,623
.7413	.5495	2,6	1,349	1,820	.4169	.1738	7,6	2,399	5,754
.7328	.5370	2,7	1,365	1,862	.4121	.1698	7,7	2,427	5,888
.7244	.5248	2,8	1,380	1,905	.4074	.1660	7,8	2,455	6,026
.7161	.5129	2,9	1,396	1,950	.4027	.1622	7,9	2,483	6,166
.7079	**.5012**	**3,0**	**1,413**	**1,995**	**.3981**	**.1585**	**8,0**	**2,512**	**6,310**
.6998	.4898	3,1	1,420	2,042	.3936	.1549	8,1	2,541	6,457
.6918	.4786	3,2	1,445	2,089	.3890	.1514	8,2	2,570	6,607
.6839	.4677	3,3	1,462	2,138	.3846	.1479	8,3	2,600	6,761
.6761	.4571	3,4	1,479	2,188	.3802	.1445	8,4	2,630	6,918
.6683	.4467	3,5	1,496	2,239	.3758	.1413	8,5	2,661	7,079
.6607	.4365	3,6	1,514	2,291	.3715	.1380	8,6	2,692	7,244
.6531	.4266	3,7	1,531	2,344	.3673	.1349	8,7	2,723	7,413
.6457	.4169	3,8	1,540	2,399	.3631	.1318	8,8	2,754	7,586
.6383	.4074	3,9	1,567	2,455	.3589	.1288	8,9	2,786	7,762
.6310	**.3981**	**4,0**	**1,585**	**2,512**	**.5348**	**.1259**	**9,0**	**2,818**	**7,943**
.6237	.3890	4,1	1,603	2,570	.3508	.1230	9,1	2,851	8,128
.6166	.3802	4,2	1,622	2,630	.3467	.1202	9,2	2,884	8,318
.6095	.3715	4,3	1,641	2,692	.3428	.1175	9,3	2,917	8,511
.6026	.3631	4,4	1,660	2,754	.3388	.1148	9,4	2,951	8,710
.5957	.3548	4,5	1,679	2,818	.3350	.1122	9,5	2,985	8,913
.5888	.3467	4,6	1,698	2,884	.3311	.1096	9,6	3,020	9,120
.5821	.3388	4,7	1,718	2,951	.3273	.1072	9,7	3,055	9,333
.5774	.3311	4,8	1,738	3,020	.3236	.1047	9,8	3,090	9,450
.5689	.3236	4,9	1,758	3,090	.3199	.1023	9,9	3.126	9,772

Para los valores en decibeles positivos, utilizar las dos columnas de la derecha de la tabla. Para los valores en decibeles negativos, utilizar las dos columnas de la izquierda.

TABLA VII

DADOS LOS DECIBELES ENCONTRAR LAS RELACIONES DE POTENCIAS, TENSIONES E INTENSIDADES

$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	dB	$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	dB	$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
0,3162	**0,10000**	**10,0**	**3,162**	**10,00**	**0,1585**	**0,02512**	**16,0**	**6,316**	**39,81**
.3126	.09772	10,1	3,199	10,23	.1567	.02455	16,1	6,383	40,74
.3090	.09550	10,2	3,236	10,47	.1549	.02399	16,2	6,457	41,69
.3055	.09333	10,3	3,273	10,72	.1531	.02344	16,3	6,531	42,66
.3020	.09120	10,4	3,311	10,96	.1514	.02291	16,4	6,607	43,65
.2985	.08913	10,5	3,350	11,22	.1496	.02239	16,5	6,683	44,67
.2951	.08710	10,6	3,388	11,48	.1479	.02188	16,6	6,761	45,71
.2917	.08511	10,7	3,428	11,75	.1462	.02138	16,7	6,839	46,77
.2884	.08318	10,8	3,467	12,02	.1445	.02089	16,8	6,918	47,86
.2851	.08128	10,9	3,508	12,30	.1429	.02042	16,9	6,998	48,98
.2818	**.07943**	**11,0**	**3,548**	**12,59**	**.1413**	**.01995**	**17,0**	**7,079**	**50,12**
.2786	.07762	11,1	3,589	12,88	.1896	.01950	17,1	7,161	51,29
.2754	.07586	11,2	3,631	13,18	.1380	.01905	17,2	7,244	52,48
.2723	.07413	11,3	3,673	13,49	.1365	.01862	17,3	7,328	53,70
.2692	.07244	11,4	3,715	13,80	.1349	.01820	17,4	7,413	54,95
.2661	.07079	11,5	3,758	14,13	.1334	.01778	17,5	7,499	56,23
.2630	.06918	11,6	3,802	14,45	.1318	.01738	17,6	7,586	57,54
.2600	.06761	11,7	3,816	14,79	.1303	.01698	17,7	7,674	58,88
.2570	.06607	11,8	3,890	15,14	.1288	.01660	17,8	7,762	60,26
.2541	.06457	11,9	3,936	15,49	.1274	.01622	17,9	7,862	61,66
.2512	**.06310**	**12,0**	**3,981**	**15,85**	**.1259**	**.01585**	**18,0**	**7,943**	**63,10**
.2483	.06166	12,1	4,027	16,22	.1245	.01549	18,1	8,035	64,57
.2455	.06026	12,2	4,074	16,60	.1230	.01514	18,2	8,128	66,07
.2427	.05888	12,3	4,121	16,98	.1216	.01479	18,3	8,222	67,61
.2399	.05754	12,4	4,169	17,38	.1202	.01445	18,4	8,318	69,18
.2371	.05623	12,5	4,217	17,78	.1189	.01413	18,5	8,414	70,79
.2344	.05495	12,6	4,266	18,20	.1175	.01380	18,6	8,511	72,44
.2317	.05370	12,7	4,315	18,62	.1161	.01349	18,7	8,610	74,13
.2291	.05248	12,8	4,365	19,05	.1148	.01318	18,8	8,710	75,86
.2265	.05129	12,9	4,416	19,50	.1135	.01288	18,9	8,811	77,62
.2239	**.05012**	**13,0**	**4,467**	**19,95**	**.1122**	**.01259**	**19,0**	**8,913**	**79,43**
.2213	.04898	13,1	4,519	20,42	.1109	.01230	19,1	9,016	81,28
.2188	.04786	13,2	4,571	20,89	.1096	.01202	19,2	9,120	83,18
.2163	.04677	13,3	4,624	21,38	.1084	.01175	19,3	9,226	85,11
.2138	.04571	13,4	4,677	21,88	.1072	.01148	19,4	9,333	87,10
.2113	.04467	13,5	4,732	22,39	.1059	.01122	19,5	9,441	89,13
.2039	.04365	13,6	4,786	22,91	.1047	.01096	19,6	9,550	91,20
.2065	.04266	13,7	4,842	23,44	.1035	.01072	19,7	9,661	93,33
.2042	.04169	13,8	4,898	23,99	.1023	.01047	19,8	9,772	95,50
.2018	.04074	13,9	4,955	24,55	.1012	.01023	19,9	9,886	97,72
.1995	**.03981**	**14,0**	**5,012**	**25,12**	**.1000**	**.01000**	**20,0**	**10,000**	**100,00**
.1972	.03890	14,1	5,070	25,70					
.1950	.03802	14,2	5,129	26,30					
.1928	.03715	14,3	5,188	26,92					
.1905	.03631	14,4	5,248	27,54					
.1884	.03548	14,5	5,309	28,18					
.1862	.03467	14,6	5,370	28,84					
.1841	.03388	14,7	5,433	29,51					
.1820	.03311	14,8	5,495	30,20					
.1799	.03236	14,9	5,559	30,90					
.1778	**.03162**	**15,0**	**5,623**	**31,62**					
.1758	.03090	15,1	5,689	32,36					
.1738	.03020	15,2	5,754	33,11					
.1718	.02951	15,3	5,821	33,88					
.1698	.02884	15,4	5,888	34,67					
.1679	.02818	15,5	5,957	35,48					
.1660	.02754	15,6	6,026	36,31					
.1641	.02692	15,7	6,095	37,15					
.1622	.02630	15,8	6,166	38,02					
.1603	.02570	15,9	6,237	38,90					

$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	dB	$\frac{I_1}{I_2}$; $\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
$3,162 \times 10^{-1}$	10^{-1}	10	3,162	10
10^{-1}	10^{-2}	20	10	10^{2}
$3,162 \times 10^{-2}$	10^{-3}	30	$3,162 \times 10$	10^{3}
10^{-2}	10^{-4}	40	10^{2}	10^{4}
$3,162 \times 10^{-3}$	10^{-5}	50	$3,162 \times 10^{2}$	10^{5}
10^{-3}	10^{-6}	60	10^{3}	10^{6}
$3,162 \times 10^{-4}$	10^{-7}	70	$3,162 \times 10^{3}$	10^{7}
10^{-4}	10^{-8}	80	10^{4}	10^{8}
$3,162 \times 10^{-5}$	10^{-9}	90	$3,162 \times 10^{4}$	10^{9}
10^{-5}	10^{-10}	100	10^{5}	10^{10}

TABLA VIII

DADA LA RELACION DE POTENCIAS, TENSIONES O INTENSIDADES DETERMINAR LOS DECIBELES QUE CORRESPONDEN

$\frac{E_1}{E_2}$; $\frac{I_1}{I_2}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	**0,000**	**0,086**	**0,172**	**0,257**	**0,341**	**0,424**	**0,506**	**0,588**	**0,688**	**0,749**
1,1	0,828	0,906	0,984	1,062	1,138	1,214	1,289	1,364	1,438	1,511
1,2	1,584	1,656	1,727	1,798	1,868	1,938	2,007	2,076	2,144	2,212
1,3	2,279	2,345	2,411	2,477	2,542	2,607	2,671	2,734	2,798	2,860
1,4	2,923	2,984	3,046	3,107	3,167	3,227	3,287	3,346	3,405	3,464
1,5	3,522	3,580	3,637	3,694	3,750	3,807	3,862	3,918	3,973	4,028
1,6	4,082	4,137	4,190	4,244	4,297	4,350	4,402	4,454	4,506	4,558
1,7	4,609	4,660	4,711	4,761	4,811	4,861	4,910	4,959	5,008	5.057
1,8	5,105	5,154	5,201	5,249	5,296	5,343	5,390	5,437	5,493	5,529
1,9	5,575	5,621	5,666	5,711	5,756	5,801	5,845	5,889	5,933	5,977
2,0	**6,021**	**6,064**	**6,107**	**6,150**	**6,193**	**6,235**	**6,277**	**6,319**	**6,361**	**6,403**
2,1	6,444	6,486	6,527	6,568	6,608	6,649	6,689	6,729	6,769	6,809
2,2	6,848	6,888	6,927	6,966	7,008	7,044	8,082	7,121	7,159	7,197
2,3	7,235	7,272	7,310	7,347	7,384	7,421	7,458	7,495	7,532	7,568
2,4	7,604	7,640	7,676	7,712	7.748	7,783	7,819	7,854	7,889	7,924
2,5	7,959	7,993	8,028	8,062	8,097	8,131	8,165	8,199	8,232	8.266
2,6	8,299	8,383	8,866	8,399	8,432	8,465	8,498	8,530	8,563	8,595
2,7	8,627	8,659	8,691	8,723	8,755	8,787	8,818	8,850	8,881	8,912
2,8	8,943	8,974	9,005	9,036	9,066	9,097	9,127	9,158	9,138	9.218
2,9	9,248	9,278	9,308	9,337	9,367	9,396	9,426	9,455	9,484	9,513
3,0	**9,542**	**9,571**	**9,600**	**9,629**	**9,657**	**9,686**	**9,714**	**9,743**	**9,771**	**9,799**
3,1	9,827	9,855	9,883	9,911	9,939	9,966	9,994	10,021	10,049	10,076
3,2	10,103	10,130	10,157	10,184	10,211	10,238	10,264	10,291	10,317	10,344
3,3	10,370	10.397	10,423	10,449	10,475	10,501	10,527	10,553	10,578	10,605
3,4	10,630	10,655	10,681	10,706	10,731	10,756	10,782	10,807	10,832	10,857
3,5	10,881	10,906	10,931	10,955	10,980	11,005	11,029	11,053	11,078	11,102
3,6	11,126	11,150	11,174	11,198	11,222	11,246	11,270	11,293	11,317	11,341
3,7	11,364	11,387	11,411	11,434	11,457	11,481	11,504	11,527	11,550	11,573
3,8	11,596	11,618	11,641	11,664	11,687	11,709	11,732	11,754	11,777	11,799
3,9	11,821	11,844	11,866	11,888	11,910	11,932	11,954	11,976	11,998	12,019
4,0	**12,041**	**12,063**	**12,085**	**12,106**	**12,128**	**12,149**	**12,171**	**12,192**	**12.213**	**12,234**
4,1	12,256	12,277	12,298	12,319	12,340	12,361	12,382	12,403	12,424	12,444
4,2	12,465	12,486	12,506	12,527	12,547	12,568	12,588	12,609	12,629	12,649
4,3	12,669	12,690	12,710	12,730	12,750	12,770	12,790	12,810	12,829	12,849
4,4	12,869	12,889	12,908	12,928	12,948	12,967	12,987	13,006	13,026	13,045
4,5	13,064	13,084	13,103	13,122	13,141	13,160	13,179	13,198	13,217	13,236
4,6	12,255	13,274	13,293	13,312	13,330	13,349	13,368	13,386	13,405	13,423
4,7	13,442	13,460	13,479	13,497	13,516	13.534	13,552	13,570	13,580	13,607
4,8	13,625	13,643	13,661	13,679	13,697	13,715	13,733	13,751	13,768	13,786
4,9	13,804	13,822	13,839	13,857	13,875	13,892	13,910	13,927	13,945	13,962
5,0	**13,979**	**13,997**	**14,014**	**14,031**	**14,049**	**14,066**	**14,083**	**14,100**	**14,117**	**14,134**
5,1	14,151	14,168	14,185	14,202	14,219	14,236	14,253	14,270	14,287	14,303
5,2	14,320	14,337	14,353	14,370	14,387	14,403	14,420	14,436	14,453	14,469
5,3	14,486	14,502	14,518	14,535	14,551	14,567	14,583	14,599	14,616	14,632
5,4	14,648	14,664	14,680	14,696	14,712	14,728	14,744	14,760	14,776	14,791
5,5	14,807	14,823	14,839	14,855	14,870	14,886	14,902	14,917	14,933	14,948
5,6	14,964	14,979	14,995	15,010	15,026	15,041	15,056	15,072	15,087	15,102
5,7	15,117	15,133	15,148	15,163	15,178	15,193	15,207	15,224	15,239	15,254
5,8	15,269	15,284	15,298	15,313	15,328	15,343	15,358	15,373	15,388	15,402
5,9	15,417	15,432	15,446	15,461	15,476	15,490	15,505	15,519	15,534	15,549

NOTA: Esta tabla suministra los decibeles correspondientes a determinadas relaciones de tensiones y corrientes. Para el caso de relación de potencias, operar como si fueran relaciones de tensiones y dividir el resultado hallado por dos.

TABLA IX

DADA LA RELACION DE POTENCIAS, TENSIONES O INTENSIDADES DETERMINAR LOS DECIBELES QUE CORRESPONDEN

$\frac{E_1}{E_2}$; $\frac{I_1}{I_2}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6,0	**15,563**	**15,577**	**15,592**	**15,606**	**15,621**	**15,635**	**15,649**	**15,664**	**15,678**	**15,692**
6,1	15,707	15,721	15,735	15,749	15,763	15,778	15,792	15,806	15,820	15.834
6,2	15,848	15,862	15,876	15,890	15,904	15,918	15,931	15,945	15,959	15,973
6,3	15,987	16,001	16,014	16,028	16,042	16,055	16,069	16,083	16,096	16,110
6,4	16,124	16,137	16,151	16,164	16,178	16,191	16,205	16,218	16,232	16.245
6,5	16,258	16,272	16,285	16,298	16,312	16,325	16,338	16,351	16,365	16,378
6,6	16,391	16,404	16,417	16,430	16,443	16,456	16,469	16,483	16,496	16,509
6,7	16,521	16,534	16,547	16,560	16,573	16,586	16,599	16,612	16,625	16,637
6,8	16,650	16,663	16,676	16,688	16,701	16,714	16,726	16,739	16,752	16,764
6,9	16,777	16,790	16,802	16.815	16.827	16,840	16,852	16,865	16,877	16,890
7,0	**16,902**	**16,914**	**16,927**	**16,939**	**16,951**	**16,964**	**16,976**	**16,988**	**17,001**	**17,013**
7,1	17,025	17,037	17,050	17,062	17,074	17,086	17,098	17,110	17,122	17.135
7,2	17,147	17,159	17,171	17,183	17,195	17,207	17,219	17,231	17,243	17,255
7,3	17,266	17,278	17,290	17,302	17,314	17,326	17,338	17,349	17.361	17,373
7,4	17,385	17,396	17,408	17,420	17,431	17,443	17,455	17,466	17.478	17,490
7,5	17,501	17,513	17,524	17,536	17,547	17,559	17,570	17,582	17,593	17,605
7,6	17,616	17,628	17,639	17,650	17,662	17,673	17,685	17,696	17,707	17,719
7,7	17,730	17,741	17,752	17,764	17,775	17,786	17,797	17,808	17,820	17,831
7,8	17,842	17,853	17,864	17,875	18,886	17,897	17,908	17,919	17,931	17,942
7;9	17,953	17,964	17,975	17.985	17,996	18,007	18,018	18,029	18,040	18.051
8,0	**18,062**	**18,073**	**18,803**	**18,094**	**18,105**	**18,116**	**18,127**	**18,137**	**18,148**	**18,159**
8,1	18,170	18,180	18,191	18,202	18,212	18,223	18,234	18,244	18,255	18,266
8,2	18,276	18,287	18,297	18,308	18.319	18,329	18,340	18.350	18,361	19.371
8,3	18,382	18,392	18,402	18,413	18,423	18,434	18,444	18,455	18,465	18,475
8,4	18,486	18,496	18,506	18,517	18,527	18,357	18,547	18,558	18,568	18,578
8,5	18,588	18,599	18,609	18,619	19,629	18,639	18,649	18,660	18,670	18,680
8,6	18,690	18,700	18,710	18,720	18,730	18,740	18,750	18,760	18,770	18,780
8,7	18,790	18,800	18,810	18,820	18,830	18,840	18,850	18,860	18,870	18,880
8,8	18,890	18,900	18,909	18,919	18,929	18,939	18,949	18,958	18,968	18,978
8,9	18.988	18.998	19,007	19,017	19,027	10,036	19,046	19,056	19,066	19,075
9,0	**19,085**	**19,094**	**19,104**	**19,114**	**19,123**	**19,133**	**19,143**	**19,152**	**19,162**	**19,171**
9,1	19,181	19,190	19,200	19,209	19,219	19,228	19,238	19,247	19,257	19,266
9,2	19,276	19,285	19,295	19,304	19,313	19,323	19,332	19,342	19,351	19,360
9,3	19,370	19,379	19,388	19,398	19,407	19,416	19,426	19,435	19,444	19,435
9,4	19,463	19,472	19,481	19,490	19,499	19,509	19,518	19,527	19.536	19,545
9,5	19,554	19,564	19,573	19,582	19,591	19,600	19,609	19,618	10,627	19,636
9,6	19,645	19,654	19,664	19,673	19,682	19,691	19,700	19,709	19,718	19,726
9,7	19,735	19,744	19,753	19,762	19,771	19,780	19,789	19,798	19,807	19,816
9,8	19,825	19,833	10,842	19,851	19,860	19,869	19,878	19,886	19,895	19,904
9,9	19,913	19,921	19,930	19,939	19,948	19,956	19,965	19,974	19,983	19,991

$\frac{E_1}{E_2}$; $\frac{I_1}{I_2}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	**20,000**	**20,828**	**21,584**	**22,279**	**22,923**	**23,522**	**24,082**	**24,609**	**25,105**	**25.575**
20	25,021	26,444	26,848	27,235	27,604	27,959	28,299	28,627	28,943	29,248
30	29,542	29,827	30,103	30,370	30,630	30.881	31,126	31,364	31,596	31,821
40	32,041	32,256	32.465	32,669	32,869	33,064	33,255	33,442	33,625	33,804
50	33,979	34,151	34,320	34,486	34,648	34,807	34.964	35,117	35,269	35,417
60	35,563	35,707	35.848	35,987	36,124	36,258	36,391	36,521	36,650	36.777
70	36,092	37,025	37,147	37,266	37,385	37,501	37,616	37,730	37,842	37,953
80	38,062	38,170	38,276	38,382	38,486	38.588	38,690	38,790	38,890	38,988
90	39,085	39,181	39,276	39,370	39,463	39.554	39,645	39,735	39,825	39.913
100	**40,000**	—	—	—	—	—	—	—	—	—

NOTA: Esta tabla suministra los decibeles correspondientes a determinadas relaciones de tensiones y corrientes. Para el caso de relación de potencias, operar como si fueran relaciones de tensiones y dividir el resultado hallado por dos.

CAPITULO III

NIVELES DE REFERENCIA

El nivel cero — Niveles cero en telefonía — En radiodifusión — En amplificación — En acústica — Nivel mínimo de audibilidad — El microbar — Umbral del dolor — Nivel cero en micrófonos — El "dBV" (0 dB = 1 volt) — El "dBm" (0 dB = 1 mW) — Conversión de regímenes — Régimen R.M.A. de salida de los micrófonos.

1. El nivel cero.

El decibel, tal como lo hemos visto en los capítulos anteriores, constituye una unidad de relación de potencias. Así, podemos relacionar la potencia de salida de un amplificador con la potencia de entrada del mismo, expresando el resultado como una ganancia o una pérdida de "x decibel". También puede expresarse, por el mismo concepto recién expuesto, la ganancia de una etapa cualquiera del amplificador estableciendo la relación entre las tensiones de entrada y de salida, a condición de tomar en cuenta las resistencias. Pero también puede expresarse la ganancia de un amplificador, refiriendo los niveles de entrada y salida del mismo a un *nivel cero* previamente convenido. Como es evidente, es posible, asimismo, establecer la diferencia en decibeles entre dos amplificadores, relacionando sus salidas con el nivel cero. De este modo podemos afirmar que el amplificador "A" posee una salida de 10 dB, en tanto que el amplificador "B" tiene una de 30 dB, siempre que expresemos el resultado con respecto al mismo nivel cero convenido.

Los niveles cero que se han establecido, a través del tiempo, son los siguientes:

2. En telefonía.

En los Estados Unidos de Norte América, se emplea el nivel cero de 0,006 W (6 mW), que representa la potencia de la palabra hablada, en una comunicación telefónica normal. Este nivel cero de potencia se considera desarrollado sobre una resistencia de carga de 500 ohm, de modo que la tensión entre los extremos será de 1,73 volt y la corriente circulante de 3,46 miliamper.

En Europa, en lugar de emplear 6 mW como nivel cero, se reduce la potencia a 1 mW, y la resistensia de carga se eleva a 600 ohm, lo que representa una tensión de 0,775 volt y una intensidad de 1,29 miliamper.

3. En radiodifusión.

En esta técnica interesa operar con valores de cresta, en lugar de valores eficaces (r. m. s.). De acuerdo con esto, y recordando que el valor de cresta de una *potencia* se obtiene multiplicando su valor eficaz por 2 ($= 1{,}41^2$), tendremos el nivel cero o de referencia para la radiodifusión, de 12,5 mW.

4. En amplificación.

Se emplean los niveles ya señalados de 1 - 6 y 12,5 mW. En Europa se acostumbra a utilizar el nivel de 16×10^{-12} watt, que representa una tensión de 0,2 volt sobre una resistencia de 50 KΩ.

5. En acústica.

Aquí se utiliza como referencia el *nivel mínimo de audibilidad*, que representa la mínima intensidad sonora que puede percibir el oído. La *American Standard Association* propuso que el valor de este nivel de referencia fuese de 10^{-16} W/cm^2 o, lo que es lo mismo, 10^{-10} μW/cm^2, ya que las mediciones indican que ésta es la intensidad de una nota de 1000 c/s apenas audible. Tal nivel se adoptó internacionalmente en París, en 1937, y por la *German Standard D.I.N. 1318* en el año 1941. Antes de 1937, en Alemania se utilizaba como nivel de referencia el de $2{,}5 \times 10^{-16}$ W/cm^2.

En realidad, a los 1000 c/s la mínima intensidad sonora audible es de $1{,}9 \times 10^{-16}$ W/cm^2, pero con fines de normalización se emplea el nivel de 10^{-16} W/cm^2, como ya lo hemos indicado más atrás.

Es posible expresar este nivel mínimo de audibilidad en erg/seg. cm^2, recordando que 1 watt = 10^7 erg/seg. Luego:

$$I = 10^{-16} \times 10^7 = 10^{-9} \text{ erg/seg. cm}^2$$

Asimismo, podemos relacionar la intensidad sonora mínima con la presión, aplicando la relación $p = 6{,}4 \sqrt{I}$. Luego:

$$\begin{aligned} p &= 6{,}4 \sqrt{10^{-9}} \\ &= 2 \times 10^{-4} \\ &= 0{,}0002 \text{ dina/cm}^2 \end{aligned}$$

Aplicando nuestros conocimientos sobre decibeles, es evidente que, con respecto a 1 microbar (1 dina/cm²), el nivel mínimo de audibilidad se halla a:

$$n = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{0{,}0002} \right) \text{dB}$$
$$= +74 \text{ dB}$$

o sea que el umbral de audibilidad corresponde a una presión de — 74 dB con respecto a 1 microbar (1 dina/cm²).

Como referencia es interesante consignar aquí que la *máxima intensidad sonora* tolerable (conocida como "umbral del dolor"), siempre a los 1000 c/s. vale: 10^{-4} W/cm², o lo que es lo mismo 10^2 μW/cm².

La relación entre las intensidades sonoras máxima y mínima está dada por la siguiente expresión:

$$n = \frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 10^{12}$$

o sea un billón de veces, valor que corresponde a 120 dB.

6. En micrófonos.

La salida de un micrófono es, aproximadamente, proporcional a la presión del sonido. La cresta de presión sonora, a una distancia de 30 cm de la boca del locutor, es del orden de 10 dina/cm², en una conversación normal. Disminuye 6 dB cada vez que la distancia se duplica (o sea que se reduce a la mitad, puesto que para la relación de presiones 6 dB equivale a una relación de 2). Cuando se habla con la boca lo más cerca que sea posible al micrófono, la presión sonora es de alrededor de 100 dina/cm².

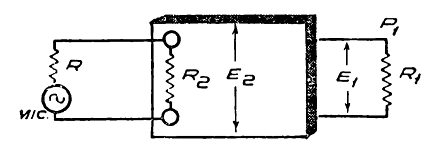


Fig. 6. — Cuando $R_2 = R$, la pérdida es de 6 dB.

Los regímenes de los micrófonos pueden establecerse en términos de tensión o de potencia, en la siguiente forma:

A) Tensión en circuito *abierto* (0 dB = 1 volt) para presión sonora de 1 dina/cm², expresándose en *dBV*, sin carga alguna como ser la entrada del amplificador.

B) Tensión en circuito *abierto* (0 dB = 1 volt) para presión sonora de 10 dinas/cm², expresado en *dBV*. Tanto en el caso *a*) como en el *b*) la tensión de entrada al amplificador será:

$$E_2 = \frac{E R_2}{R + R_2}$$

donde E = tensión en circuito abierto; R_2 = resistencia de entrada del amplificador; R = resistencia del micrófono, supuesta resistiva.

Si la resistencia de entrada del amplificador es igual a la resistencia interna del micrófono, la tensión entregada a los terminales de entrada será solamente la mitad de la generada, dando una pérdida de 6 dB. Así, si antes era de — 74 dB, ahora será de — 80 dB.

C) unidades de volumen (leídas en un indicador de volumen) para presión sonora de 1 dina/cm², expresadas en VU (ver Cap. VII).

D) tensión en el circuito de grilla de alta impedancia (0 dB = 1 volt; Z = 40 KΩ) para presión sonora de 1 dina/cm², expresada en *dBV* (0 dB = 1 volt).

Los anteriores constituyen regímenes de *tensión*; veamos ahora los regímenes de *potencia*.

E) potencia de salida (0 dB = 1 mW) para presión sonora de 1 dina/cm², expresada en *dBm*.

F) potencia de salida (0 dB = 1 mW) para presión sonora de 10 dina/cm², expresada en *dBm*.

G) potencia de salida (0 dB = 6 mW) para presión sonora de 1 dina/cm². Se emplea muy raramente.

H) potencia de salida (0 dB = 6 mW) para presión sonora de 10 dina/cm². Su uso está cada vez más restringido.

J) potencia de salida (0 dB = 1 mW) para presión sonora de 0,0002 dina/cm². Este es el régimen de la *R.M.A.* (ver más adelante).

Para convertir de *A* a *B* sumar + 20 dB.
" " " *B* a *A* " — 20 dB.
" " " *C* a *A* " — 2 dB.

En cuanto a la conversión entre los regímenes de potencia, será útil la siguiente tabla:

TABLA X

CONVERSION ENTRE REGIMENES DE POTENCIA

Conversión	Sumar	Conversión	Sumar	Conversión	Sumar
E en F	+ 20 dB	F en J	— 94 dB	H en G	— 20 dB
E en G	— 8 dB	G en E	+ 8 dB	H en J	— 86 dB
E en H	+ 12 dB	G en F	+ 28 dB	J en E	+ 74 dB
E en J	+ 74 dB	G en H	+ 20 dB	J en F	+ 94 dB
F en E	— 20 dB	G en J	— 66 dB	J en G	+ 66 dB
F en G	— 28 dB	H en E	— 12 dB		
F en H	— 8 dB	H en F	+ 8 dB	J en H	+ 86 dB

Si la presión sonora es la misma en ambos casos, podemos escribir: régimen del micrófono en dBV (0 dB = 1 volt) = régimen del micrófono en dBm (0 dB = 1 miliwatt) + factor de corrección (dB).

El factor de corrección (F. C.) está dado por:

TABLA XI

FACTORES DE CORRECCION

Z =	25	50	150	250	600	25000	40000	ohm
F. C. =	—16	—13	—8	—6	—2	+14	+16	dB

Los micrófonos de cristal y a condensador pueden ser indicados con un régimen de potencia, mientras que otros tipos de micrófonos sólo pueden compararse directamente con tipos de cristal y condensador, en base a la tensión en el circuito de grilla sin carga. Para efectuar esta comparación, se ha considerado que la impedancia nominal del secundario del transformador es de 40.000 Ω y que la tensión a través del secundario es la tensión que se produciría a través de una resistencia de 40.000 Ω que está disipando una potencia igual al régimen de salida del micrófono. Esta tensión se denomina "*tensión en circuito de grilla de alta impedancia* (régimen D)".

TABLA XII

CONVERSION ENTRE REGIMENES DE MICROFONOS

Para convertir	**súmese**
A a *D* (micr. cristal)	0 dB
B a *D* (ídem)	— 20 dB
C a *D*	— 2 dB
E a *D*	+ 16 dB
F a *D*	— 4 dB
G a *D*	+ 24 dB
H a *D*	+ 4 dB
J a *D*	+ 90 dB

Cuando un micrófono se conecta a un transformador de entrada no cargado en su secundario, su salida no puede expresarse en función de la potencia entregada, puesto que tal potencia es prácticamente inapreciable. Por tal razón, los regímenes de salida de los micrófonos se expresan, a menudo, en función del *nivel efectivo de salida*, en *dBm*. El nivel efectivo de

salida es calculado de modo tal que cuando la ganancia de potencia en decibeles es sumada al nivel efectivo de salida del micrófono, en dbm, se obtiene el nivel correcto de salida del amplificador (en dBm).

El régimen de nivel de salida efectivo está basado en la suposición de que el micrófono trabaja en una impedancia de carga *igual* a su propia impedancia nominal. La tensión correspondiente a este nivel de salida efectivo, es de 6 dB por debajo de la que se obtiene cuando el micrófono opera en la entrada de alta impedancia de un preamplificador. Esta diferencia de 6 dB es una función de la entrada del preamplificador y no del micrófono mismo. Los regímenes de ganancia de potencia de los preamplificadores, toman en cuenta este aumento de 6 dB en la ganancia.

Si el nivel de salida de un micrófono no es conocido, puede derivarse su valor de la siguiente forma (*Langford Smith, Radio Designer's Handbook*):

1) La potencia de salida puede ser convertida a dBm, o

2) Cuando se conoce la tensión de salida del micrófono en circuito abierto, en dBV (0 dB = 1 volt), puede efectuarse la conversión a volt (Eg) y el nivel de salida efectivo en miliwatt queda determinado mediante la siguiente expresión:

$$mW = \frac{1000\ E_g^2}{4\ R_m}$$

donde R_m es la impedancia *nominal* del micrófono. La potencia en miliwatt puede ser convertida, entonces, en dBm.

Régimen R. M. A. de salida para los micrófonos (*RMA Standard SE-105*). — Este régimen es sumamente útil cuando se desea calcular la ganancia *combinada* de un sistema formado por un micrófono, amplificador y altoparlante. Se define como la razón (en dB) entre la potencia eléctrica entregada por el micrófono (expresada en dB relativos a 0,001 watt y 0,0002 dina/cm^2) y el cuadrado de la presión de campo sonoro no perturbado, en una onda progresiva plana a la posición del micrófono.

El sistema de régimen de salida de la *RMA* está dado por la expresión:

$$G_m = 10 \log_{10} \left(\frac{E^2}{p^2\ 4\ R_{mr}} \right) - 44 \text{ dB}$$

que se reduce, para las aplicaciones prácticas, a:

$$G_m = \left[20 \log_{10} \left(\frac{E}{p} \right) - 10 \log_{10} R_{mr} \right] - 50 \text{ dB}$$

donde G_m = régimen de salida del micrófono,

E = tensión de salida en circuito abierto generada por el micrófono,

p = presión sonora en dina/cm²,

R_{mr} = impedancia de régimen del micrófono (impedancia puramente resistiva). Esta puede diferir de la impedancia *efectiva* del micrófono. La impedancia *nominal* es la impedancia eléctrica a 1000 c/s, pudiendo apreciarse en la siguiente tabla la relación entre la impedancia nominal y la impedancia de régimen:

TABLA XIII

RELACIONES ENTRE IMPEDANCIA NOMINAL Y DE REGIMEN

Impedancia nominal ohm	**Impedancia de régimen ohm**
19 a 75	38
75 a 300	150
300 a 1200	600
1200 a 4800	2400
4800 a 20.000	9600
20000 a 80.000	40000
80000 ó más	100000

El régimen de salida de la *R.M.A.* es esencialmente el mismo que expresa la salida del micrófono en Nivel de Salida Efectivo, excepto que la presión acústica en el micrófono es de 0,0002 dina/cm² (límite de audibilidad). Para convertir el régimen de la R.M.A. en régimen de Nivel de Salida Efectivo, sólo es necesario tener en cuenta el cambio en la presión acústica. Por ejemplo si un micrófono posee un régimen R.M.A. de — 154 dB, el régimen de Nivel de Salida Efectivo de 10 dina/cm² será de — 60 dBm, y para una dina/cm², de — 80 dBm.

CAPITULO IV

PROBLEMAS EN QUE INTERVIENE EL DECIBEL, FRECUENTES EN EL PROYECTO DE AMPLIFICADORES.

Ganancia de un amplificador — Cálculo de la ganancia del preamplificador del micrófono — Ganancia de un amplificador con desequilibrio de impedancias en la carga — Pérdida de reflexión — Ganancia de un amplificador según las normas R.M.A. — Efecto del cambio del transformador de entrada — Cálculo de las ganancias y pérdidas en un equipo amplificador — Cálculo de las tensiones de zumbido en un amplificador — Cálculo de pérdidas de inserción — Solución gráfica de pérdidas de inserción — Proyecto de controles de volumen por pasos — Cálculo de atenuadores — Niveles de intesidad producidos por los altoparlantes — Potencia de salida de un altoparlante — Proyecto de circuitos de control automático de sensibilidad (CAS) — Atenuación expresada como constante de tiempo — Problemas en transformadores — Cálculo de la potencia acústica necesaria para la correcta reproducción de la palabra — Cálculo de la potencia acústica necesaria para la reproducción de la música orquestal — Cálculo de la potencia eléctrica necesaria aplicada al parlante — Justificación de los controles de sonoridad — Proyecto de circuitos con realimentación negativa — Elección de la curva del control de volumen — Normas de grabación — Pre-énfasis de agudos — El "de-énfasis" en la reproducción — Valores de niveles de atenuación de agudos, a los 10 Kc/s, según la marca del disco — Compensación de graves — Tabla de valores de atenuación de graves según la norma de grabación utilizada — Filtros pasa-bajos para atenuación de agudos — Frecuencia de corte o transición — Proyecto de filtros incluídos en una red de realimentación negativa.

1. Ganancia de un amplificador.

I) Determinar la ganancia que debe suministrar un amplificador de 25 watt de salida audiofrecuente, para poder aplicar, a su entrada, un fonocaptor, cuya sensibilidad es de — 53 dB (nivel 0 dB = 6 mW). Establecer, también, la ganancia que debe suministrar el preamplificador para micrófono, si la sensibilidad de este último es de — 85,8 dB. La resistencia de entrada en ambos canales es de 1 megohm.

El primer paso consistirá en establecer la tensión de salida del fonocaptor y del micrófono. Considerando que la resistencia de carga de entrada es de 1 megohm, entonces los 0,006 W de potencia darán lugar a una diferencia de potencial de:

$$E = \sqrt{P R} = \sqrt{0{,}006 \times 1.000.000} = 77{,}3 \text{ V}$$

Ahora, recurriendo a las tablas de decibeles, tenemos que un nivel de — 85,8 dB, como lo es el del micrófono, corresponde a una relación de

tensiones de $0{,}5129 \times 10^{-4}$ de modo que multiplicando este valor por 77,3, tendremos la salida del micrófono en volt:

$$E = 77{,}3 \times 0{,}5129 \times 10^{-4} = 4 \text{ mV}$$

Con este dato podemos determinar la potencia desarrollada por el micrófono sobre la resistencia de carga:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{0{,}004 \times 0{,}004}{1.000.000}$$
$$= 16 \times 10^{-12} \text{ W.}$$

Si ahora relacionamos la potencia de salida del micrófono con la potencia de salida del amplificador, tendremos:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{25}{16 \times 10^{-12}} \right)$$
$$= 10 \log_{10} (1{,}6 \times 10^{12}) \qquad (1)$$

Esta operación se resuelve de la siguiente manera: Se comienza por buscar el logaritmo de 16 que, según las tablas, es igual a 1,2, de modo que para el caso particular de la cifra 1,6 el logaritmo será 0,2. Sin embargo, como 1,6 está multiplicado por 10^{12}, ello significa que el producto total tendrá 13 cifras, por lo que le corresponde la característica 13 — 1 = 12. Finalmente,

$$\log_{10} (1{,}6 \times 10^{12}) = 12{,}2$$

De modo que el resultado de la expresión (1) será: $n = 122$ dB.

Al mismo resultado podría llegarse por una vía más directa, estableciendo la relación, en decibeles, entre la potencia de salida y el nivel cero de potencia:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{25}{0{,}006} \right) = 36{,}2 \text{ dB}$$

que deberán sumarse al valor de la sensibilidad del micrófono:

$$A = 36{,}2 + 85{,}8 = 122 \text{ dB}$$

Valor que coincide con el hallado anteriormente, pero en forma más simple. Si antes se recurrió a un proceso más largo ha sido con el fin de efectuar un ejercicio de práctica, que puede servir para su aplicación en otros problemas.

En la misma forma como hemos procedido para calcular la ganancia del amplificador en el canal del micrófono, así también debemos actuar para el cálculo de la ganancia del canal del fonocaptor. Esto se realiza, simplemente, sumando la ganancia del amplificador con referencia al nivel cero de potencia de 6 mW con la sensibilidad del fonocaptor, que también está referida al mismo nivel:

$$A = 36{,}2 + 53 = 89{,}2 \text{ dB}$$

Esto nos dice que la diferencia de ganancia entre los dos canales es de:

$$122 - 89{,}2 = 32{,}8 \text{ dB}$$

En la práctica, el proyecto se resuelve construyendo un amplificador que suministre una ganancia de 89,2 dB, a cuya entrada se aplicará el fono-

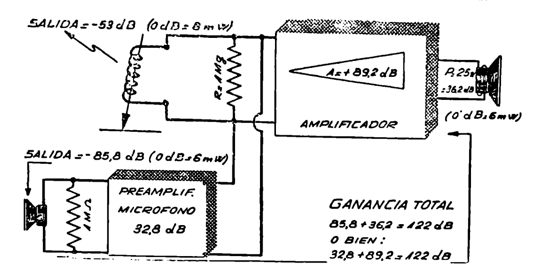


Fig. 7. — Ilustración correspondiente al ejemplo 1.

captor, agregando un preamplificador que suministre una ganancia de 32,8 dB para el micrófono. Todo esto se ilustra en la fig. 7.

2. Ganacia de un amplificador con desequilibrio de impedancias entre la salida y la carga.

II) En el ejemplo anterior se ha partido de la base de que la impedancia del circuito de salida del amplificador está perfectamente equilibrada con la impedancia de la carga. A continuación analizaremos un ejemplo de lo que sucede con la ganancia cuando tal equilibrio no existe. Este desarrollo ha sido tomado de *V.V.L. Rao* (The Decibel Notation, Chemical Publishing, Co, 1946) y es muy ilustrativo acerca de una de las aplicaciones más útiles del decibel.

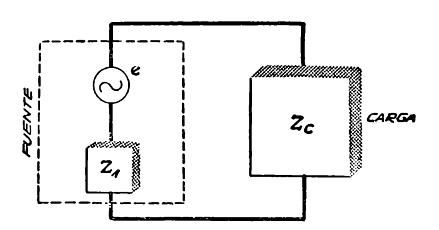


Fig. 8. — Diagrama correspondiente al ejemplo 2.

Para una mejor comprensión de lo que sigue, analicemos el circuito de la fig. 8 donde se presenta un generador que suministra una tensión alterna e, siendo su impedancia interna Z_1, y llamando Z_c a la impedancia de la carga. Evidentemente, la corriente circulante en el circuito será igual a:

$$i = \frac{e}{Z_1 + Z_c}$$

y si hacemos $Z_1 = Z_c$, entonces:

$$i = \frac{e}{2\,Z_1}$$

Puesto que la potencia está dada por la expresión $P = i^2 Z$, entonces, en nuestro caso:

$$P_c = \left(\frac{e}{2\,Z_1}\right)^2 Z_1 = \left(\frac{e^2}{4\,Z_1}\right) \tag{1}$$

Si existe desequilibrio de impedancias, o sea que $Z_1 \neq Z_c$, entonces:

$$P_c' = \left(\frac{e}{Z_1 + Z_c}\right)^2 Z_c \tag{2}$$

La pérdida producida por el desequilibrio se obtendrá determinando la relación entre las potencias en las condiciones (1) y (2), expresando el resultado en decibeles:

$$\frac{P_c}{P_c'} = \left(\frac{e^2}{4\,Z_1}\right)\left(\frac{(Z_1 + Z_c)^2}{Z_c}\right)\left(\frac{1}{e^2}\right) = \left(\frac{(Z_1 + Z_c)^2}{4\,Z_1\,Z_c}\right)$$

donde P_c = potencia en la carga normal y P_c' = potencia en la carga desequilibrada, que expresado en decibeles nos da:

$$dB = 10 \log_{10} \frac{(Z_1 + Z_c)^2}{4\,Z_1\,Z_c} \tag{3}$$

Puesto que el denominador puede escribirse, asimismo:

$$4\,Z_1\,Z_c = 4\sqrt{(Z_1\,Z_c)^2}$$

entonces la expresión (3) se convertirá en:

$$dB = 10 \log_{10} \left[\frac{(Z_1 + Z_c)^2}{4\sqrt{(Z_1\,Z_c)^2}}\right] \tag{4}$$

o bien:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{Z_1 + Z_c}{2\sqrt{Z_1\,Z_c}}\right) \tag{5}$$

A esta expresión, que determina la pérdida de potencia por efecto del desequilibrio de impedancias entre la fuente y la carga, se la denomina *pérdida de potencia por reflexión*, debido a que tal pérdida se considera como producida por la reflexión de parte de la energía desarrollada en la carga de nuevo a la fuente.

En todas las consideraciones que siguen supondremos que las impedancias involucradas son resistencias puras, o sea que $Z_1 = R_1$ y que $Z_c = R_c$.

También resulta posible expresar la *pérdida de tensión por reflexión.* En efecto, es evidente que la tensión en la resistencia de carga R_c será igual a:

$$e_c = e \left(\frac{R_c}{R_1 + R_c} \right) \qquad (6)$$

Cuando $R_1 = R_c$ (condición de equilibrio de impedancias), entonces (6) se convierte en:

$$e_c = \frac{e}{2} \qquad (7)$$

La pérdida de tensión por reflexión será, entonces, la relación entre (6) y (7) expresada en decibeles:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{R_1 + R_c}{2\,R_c} \right) \qquad (8)$$

Cuando se desea expresar la ganancia de un amplificador en el cual existe un desequilibrio de impedancias entre su salida y la carga, deberá tomarse en cuenta esta pérdida de tensión por reflexión.

De acuerdo con todo lo dicho anteriormente, la ganancia en decibeles de un amplificador debe ser expresada en la siguiente forma:

Caso A: *Ganancia en decibeles, en el caso de un desequilibrio de impedancias, entre la salida y la carga partiendo de los valores de potencia de entrada y salida*:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) - 10 \log_{10} \left[\frac{(R_1 + R_c)^2}{(4\,R_1\,R_c)} \right] \qquad (9)$$

donde P_1 = potencia de salida del amplificador;
P_2 = potencia de entrada al amplificador;
R_1 = Resistencia de salida del amplificador;
R_2 = Resistencia de entrada del amplificador;
R_c = Resistencia de carga a la salida del amplificador.

Caso B: *Ganancia en decibeles en el caso de un desequilibrio de impedancias, partiendo de los valores de tensiones de entrada y salida*:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{R_2}{R_1} \right) - 10 \log_{10} \left[\frac{(R_1 + R_c)^2}{4\,R_1\,R_c} \right] \qquad (10)$$

Caso C: *Ganancia en decibeles en el caso de un desequilibrio de impedancias, pero haciendo intervenir las pérdidas de tensión por reflexión, en lugar de las pérdidas de potencia*:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) - 20 \log_{10} \left(\frac{R_1 + R_c}{2 R_c}\right) \qquad (11)$$

o sea que la ganancia, en decibeles, será igual a la ganancia de tensión para el caso de que las impedancias estén equilibradas menos la pérdida de tensión de salida por reflexión.

Caso D: *Si las resistencias de entrada y salida no son iguales, entonces tenemos que agregar la correspondiente corrección*:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{R_2}{R_1}\right) - 20 \log_{10} \left(\frac{R_1 + R_c}{2 R_c}\right) \qquad (12)$$

Un ejemplo numérico nos permitirá comprender mejor las aplicaciones de estas fórmulas.

Sea un amplificador, que opera con una entrada, por línea de 500 Ω, de 6 mW. La potencia de salida es de 6 watt cuando trabaja con una impedancia de 10 Ω equilibrada a la carga. Determinar la ganancia cuando se opera con una resistencia de carga de 20 Ω.

Resumiendo los datos suministrados, podemos escribir:

$P_2 = 6 \times 10^{-3}$ W ; $R_2 = 500\,\Omega$; $E_2 = \sqrt{0{,}006 \times 500} = \sqrt{3} = 1{,}73$V

$P_1 = 6$ W ; $R_1 = 10\,\Omega$; $E_1 = \sqrt{6 \times 10} = \sqrt{60} = 7{,}746$ V

$R_c = 20\,\Omega$

Aplicando las fórmulas anteriores, tenemos:

A) *Ganancia en el caso de una salida de impedancia equilibrada con la carga*:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 10 \log_{10} \left(\frac{6}{6 \times 10^{-3}}\right)$$
$$= + 30 \text{ dB}$$

B) *Ganancia en decibeles en el caso de salida de impedancia equilibrada con la carga, pero tomando las relaciones de tensiones*:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{\sqrt{60}}{\sqrt{3}}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{500}{10}\right)$$
$$= + 30$$

C) *Ganancia de potencia en el caso de salida de impedancia desequilibrada, partiendo de los valores de potencias:*

$$dB = 10 \log_{10}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) - 10 \log_{10}\left[\frac{(R_c + R_1)^2}{4\, R_c\, R_1}\right]$$

$$= 10 \log_{10}\left(\frac{6}{6 \times 10^{-3}}\right) - 10 \log_{10}\left[\frac{(20 + 10)^2}{4 \times 20 \times 10}\right]$$

$$= 30 - 0{,}5 = 29{,}5$$

Pérdida debida al desequilibrio de impedancias = 0,5 dB.

D) *Ganancia de potencia en el caso de salida de impedancia desequilibrada, partiendo de los valores de tensiones y haciendo intervenir la pérdida de tensión por reflexión:*

$$dB = 20 \log_{10}\left(\frac{E_1}{E_2}\right) + 10 \log_{10}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) - 20 \log_{10}\left[\frac{(R_c + R_1)}{2\, R_c}\right]$$

$$= 20 \log_{10} \sqrt{\frac{60}{3}} + 10 \log_{10}\left(\frac{500}{10}\right) - 20 \log_{10}\left(\frac{20+10}{40}\right)$$

Estos problemas pueden resolverse en forma más directa todavía, pero para ello debemos comenzar por establecer el valor de la tensión y de la potencia desarrolladas en la carga:

$$E_c = E_1\left(\frac{2\, R_c}{R_c + R_1}\right) = \sqrt{60} \times \left(\frac{2 \times 20}{20 + 10}\right) = \left(\frac{4}{3}\sqrt{60}\right) \text{ volt}$$

$$P_c = \frac{E_c^2}{R_c} = \left(\frac{16}{9} \times \frac{60}{20}\right) = \left(\frac{16}{3}\right) \text{ watt}$$

De acuerdo con estos datos previos:

A) *Ganancia en el caso de operar en una carga desequilibrada (partiendo de los valores de potencias):*

$$dB = 10 \log_{10}\left(\frac{P_c}{P_2}\right) = 10 \log_{10}\left(\frac{16}{3}\right) \times \left(\frac{1}{6 \times 10^{-3}}\right)$$

$$= 29{,}5$$

B) Ganancia en el mismo caso anterior, partiendo de los valores de tensión:

$$dB = 20 \log_{10}\left(\frac{E_c}{E_2}\right) + 10 \log_{10}\left(\frac{R_2}{R_c}\right)$$

$$= 20 \log_{10}\left(\frac{4\sqrt{60}}{3\sqrt{3}}\right) + 10 \log_{10}\left(\frac{500}{20}\right)$$

$$= 29{,}5.$$

4. Ganancia de un amplificador según la R.M.A.

La R.M.A. define a la ganancia de un amplificador como la relación, en dB, de la potencia entregada a la carga y la potencia que se entregaría a la misma carga si el amplificador fuese reemplazado por un transformador ideal que equilibre las impedancias de la carga y la fuente.

En la fig. 6 la potencia entregada a la carga es:

$$P_1 = \frac{E_1^2}{R_1}$$

A su vez el transformador ideal entregaría, a la misma carga, una potencia de:

$$P_2 = \frac{E_2^2}{R_2}$$

Por lo tanto, la ganancia en dB es:

$$dB = 10 \log_{10}\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Si la resistencia de entrada del amplificador es igual a la resistencia interna de la fuente (o sea $R_2 = R$), entonces:

$$E_2 = \frac{E}{2} \quad \text{y} \quad P_2 = \frac{E^2}{4\,R_2} = \frac{E^2}{4\,R}$$

La ganancia en decibeles:

$$10 \log_{10}\left(\frac{4\,R\,E_1^2}{R_1\,E^2}\right) =$$

$$= 20 \log_{10}\left(\frac{2\,E_1}{E}\right)\sqrt{\frac{R}{R_1}} = 6 + 20 \log_{10}\left(\frac{E_1}{E}\right)\sqrt{\frac{R}{R_1}}$$

Si, además, $R_2 = R_1 = R$, entonces:
Ganancia en decibeles:

$$6 + 20 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E}\right)$$

5. Efecto del cambio del transformador de entrada.

III) Un problema que se hace presente con suma frecuencia durante el proyecto de amplificadores de audiofrecuencia es el siguiente (*H. M. Tremaine, Sound Engineering*):

¿Cuál será el aumento efectivo, o reducción, en la ganancia de un amplificador que utiliza un transformador de entrada con una relación de impedancias de 500 a 100.000 ohm, en comparación con un transformador que posee una relación de impedancias de 500 a 60.000 ohm, para el mismo nivel de señal de entrada?

En primer lugar debemos comenzar por determinar la relación de espiras, o de transformación:

$$n = \sqrt{\frac{Z_s}{Z_p}}$$

donde Z_s = impedancia del secundario y Z_p = impedancia del primario. Colocando valores numéricos:

$$n = \sqrt{\frac{100.000}{500}} = 14{,}14$$

Haciendo lo mismo para el segundo transformador:

$$n = \sqrt{\frac{60.000}{500}} = 10{,}95$$

y ahora, estableciendo la relación en decibeles entre estos dos valores, puesto que ello representa, al mismo tiempo, la relación existente entre las tensiones:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{14{,}14}{10{,}95}\right) = 2{,}22$$

o sea que colocando el primero de estos transformadores y ajustando las impedancias a la entrada, la ganancia a la salida será de 2,22 dB, que representa una relación de 1,292 veces en tensión.

6. Ganancias y pérdidas en un equipo de grabación.

IV) La fig. 9 constituye un diagrama, tomado de *Tremaine* (loc. cit.) que representa un sistema de grabación, donde se ilustra el amplio rango de niveles encontrados, y cómo se emplea el decibel para determinar los niveles de funcionamiento en los diversos puntos del sistema. Encima de cada "block" se suministra la ganancia o la pérdida en decibeles. El nivel de salida del micrófono es de (— 53) dBm, en tanto que la entrada a la cabeza de grabación se eleva a (+ 30) dBm. Estos valores representan una ganancia de 83 dB de extremo a extremo del sistema. Esta ganancia se considera realizada a la frecuencia de 1000 c/s.

A continuación del micrófono se tiene un preamplificador cuya ganancia es de 40 dB, de modo que a la salida de la etapa se tendrá un nivel de señal de (— 13) dBm. En el canal de fonocaptor, la salida de éste es de (— 45) dBm, por lo que, puesto que se utiliza el mismo preamplificador del micrófono, el nivel a la entrada del mezclador será de (— 5) dBm. El circuito mezclador introduce dos tipos de pérdidas:

a) pérdidas de inserción, producidas por la parte resistiva del circuito y

b) pérdidas de atenuación, debidas al potenciómetro.

En el caso de este equipo se considera que la pérdida por (*a*) es de 20 dB y por (*b*) de 15 dB, por lo que la pérdida total será de 35 dB. Si consideramos el canal del micrófono, puesto que el nivel a la salida del preamplificador era de (— 13) dBm, ahora se reducirá, después del paso del atenuador a (— 13) + (— 35) = — 48 dBm. Un amplificador auxiliar (booster), dispuesto a continuación, compensa en gran parte estas pérdidas, pues su ganancia es de 30 dB; luego a su salida tendremos un nivel de (— 18) dBm.

Un control maestro de ganancia dispuesto en el circuito, a continuación del amplificador auxiliar, vuelve a producir una pérdida de 20 dB, de modo que a su salida el nivel será de (— 18) + (— 20) = — 38 dBm. Esta salida se reduce 1 dB más, o sea que baja a (— 39) dBm, por efecto de las dos pérdidas sucesivas de 0,5 dB producidas por los filtros pasa-altos y pasa-bajos intercalados.

Un amplificador de línea de 43 dB de ganancia permite compensar las pérdidas, elevando la salida a (+ 43) + (— 39) = + 4 dBm. La salida del amplificador de línea alimenta a un sistema compensador de características de grabación, que produce una pérdida de 18 dB. Para compensar esta pérdida se intercala, entre el amplificador de línea y el compensador de grabación, una etapa amplificadora que produzca una ganancia de exactamente 18 dB. El resultado es que, a la salida del compensador de grabación se tiene, nuevamente, el mismo nivel de (+ 4) dBm que a la salida del amplificador de línea. Y llegamos, así, al amplificador de potencia que ha de excitar a la cabeza de grabación. Puesto que el nivel aplicado a ésta debe ser de (+ 30) dBm, tal como hemos dicho anteriormente, resulta claro que

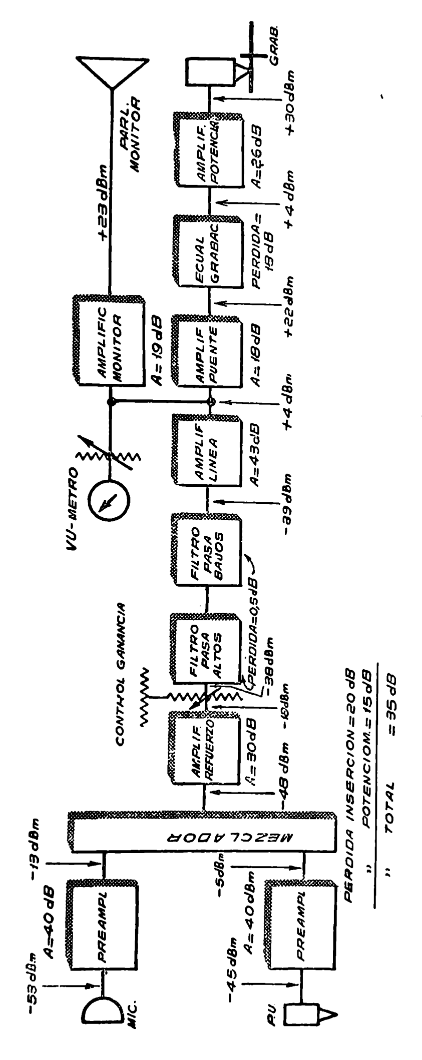


Fig. 9. — Ganancias y pérdidas en un equipo de grabación.

la ganancia del amplificador de potencia debe ser de (+ 26) dB, ya que a su entrada se tienen solamente (+ 4) dBm.

Este equipo incluye un canal monitor, para el control de la grabación. Tal canal está constituído por un amplificador de potencia de 19 dB de ganancia, conectado a la salida del amplificador de línea. Como la salida de éste es de (+ 4) dBm, es obvio que el nivel sobre el parlante será de

$$+4+19=+23 \text{ dBm}.$$

En la tabla siguiente puede verse que para calcular la ganancia neta del sistema de grabación se suman, primero, todas las ganancias y, luego, todas las pérdidas, siendo la ganancia neta la diferencia entre los resultados obtenidos en las dos columnas:

Pérdidas		Ganancias		Resumen	
Mezclador	35 dB	Preamp. Micr. ..	40 dB	Ganancia	157 dB
Control maestro .	20 dB	Ampl. auxiliar ..	30 dB		
Filtros	1 dB	Ampl. línea	43 dB	Pérdida	74 dB
Comp. Grab. ...	18 dB	Ampl. puente ...	18 dB		
		Ampl. potencia ..	26 dB		
Total pérdidas..	74 dB	Total ganancias.	157 dB	Neto	83 dB

7. Cálculo de las tensiones de zumbido.

V) Calcular las tensiones de zumbido presentes en un circuito como el de la fig. 10 (Adolfo Di Marco, "Amplificadores de audiofrecuencia"). — El zumbido presente en una fuente de alimentación puede expresarse en decibeles en la siguiente forma:

$$Zumbido\ (dB) = -20 \log_{10}\left(\frac{\text{Tensión continua de salida}}{\text{Valor eficaz de las componentes alternas}}\right)$$

Es deseable que en cada punto del amplificador que reciba alimentación de la fuente B, la tensión de zumbido sea tal que a la salida la relación señal/ruido no baje de 50 dB. Una relación de este valor significa que:

$$20 \log_{10}\left(\frac{\text{Tensión de señal}}{\text{Tensión de ruido}}\right) = 50 \text{ dB}$$

Por lo tanto:

$$\log_{10}\left(\frac{\text{Tensión de señal}}{\text{Tensión de ruido}}\right) = 50/20 = 2,5$$

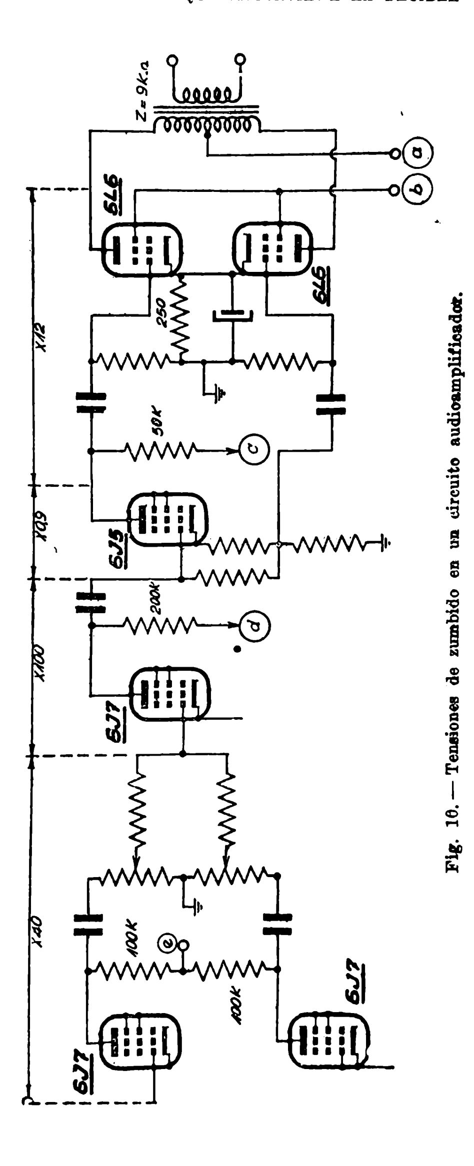


Fig. 10. — Tensiones de zumbido en un circuito audioamplificador.

Y como el antilogaritmo de 2,5 es 316:

$$\frac{\text{Tensión de señal}}{\text{Tensión de ruido}} = 316$$

Valor que también puede obtenerse, directamente, consultando una tabla de decibeles. De acuerdo con el cálculo efectuado, la tensión de zumbido en cualquier punto del amplificador (salvo la etapa de salida que es simétrica y, por lo tanto se toleran tensiones de zumbido del orden del 10 % o sea — 20 dB) deberá ser 316 veces menor que la tensión de señal. De acuerdo con el tipo de válvulas que hemos utilizado a la salida, la tensión de señal en grillas de control debe ser de 26 volt de cresta de audio, lo que representa una tensión eficaz de:

$$E_{ff} = 26 \times 0{,}707 = 19 \text{ V}$$

Por lo tanto, en ambas resistencias del inversor catodino la tensión de zumbido deberá ser de:

$$E_s = \frac{10}{316} = 0{,}06 \text{ V}$$

Como las dos resistencias están en serie, la tensión de zumbido en el punto *C* puede ser igual al doble o sea 0,12 volt.

Como el inversor catodino *6J5* tiene una ganancia de 0,9 puede considerarse que la tensión de placa de la *6J7* es igual a la de grilla de la *6L6*, o sea que en el punto *d* la tensión de zumbido deberá ser como máximo de 0,06 volt.

Considerando que la ganancia de la *6J7* es de 100 veces, entonces la tensión de zumbido en las placas de las *6J7* de entrada deberá ser de 0,0006 volt puesto que también se reduce 100 veces la tensión de señal.

8. Cálculo de perdidas de inserción.

VI) Sea la fig. 11 el diagrama correspondiente a un circuito de audio donde E_g es la tensión del generador, Z_g la impedancia del mismo y Z_L la impedancia de carga. En estos circuitos se hacen presentes problemas de pérdidas debido a la inserción de resistencias o impedancias en serie o en paralelo. Algunos de estos problemas se analizarán a continuación, debido a que los mismos incluyen la unidad decibel en los considerandos.

1) *Supongamos que* $Z_g = R_g$ *y* $Z_L = R_L$ *y además que* $R_g = R_L = 500\,\Omega$. *Determinar la pérdida, en dB, si se inserta una resistencia* R_1 *en serie en el circuito, entre los terminales 1-3 (fig. 11B).*

Sea I_L = corriente de carga antes de la inserción de la resistencia;

I'_L = corriente de carga después de la inserción de la resistencia.

Entonces:
$$\frac{I'_L}{I_L} = \frac{R_g + R_L}{R_g + R_L + R_1} = \frac{1000}{1500} = 0{,}67$$

Resultado que implica una pérdida de:

$$20 \log_{10} \left(\frac{1}{0{,}67}\right) = 3{,}5 \text{ dB}$$

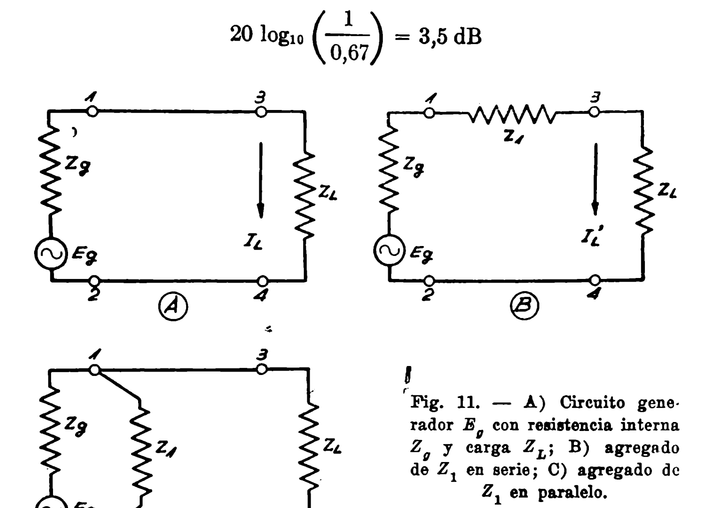


Fig. 11. — A) Circuito generador E_g con resistencia interna Z_g y carga Z_L; B) agregado de Z_1 en serie; C) agregado de Z_1 en paralelo.

2) Establecer la pérdida, en dB, si R_1 del problema anterior se inserta en el circuito de la fig. 11A entre los terminales 1-2, como se muestra en la fig. 11C.

$$\frac{I'_L}{I_L} = \frac{R_1 (R_g + R_L)}{R_1 (R_g + R_L) + (R_g R_L)}$$

expresión literal que resuelta con los valores numéricos nos da:

$$\frac{500 (1000)}{500 (1000) + 250.000} = 0{,}67$$

o sea que, igual que antes, la pérdida es de 3,5 dB.

3) Establecer la pérdida en el circuito anterior si se introduce una inductancia de 1,6 henry entre los terminales 1-3, siendo las frecuencias de funcionamiento: a) 50 c/s y b) 10.000 c/s.

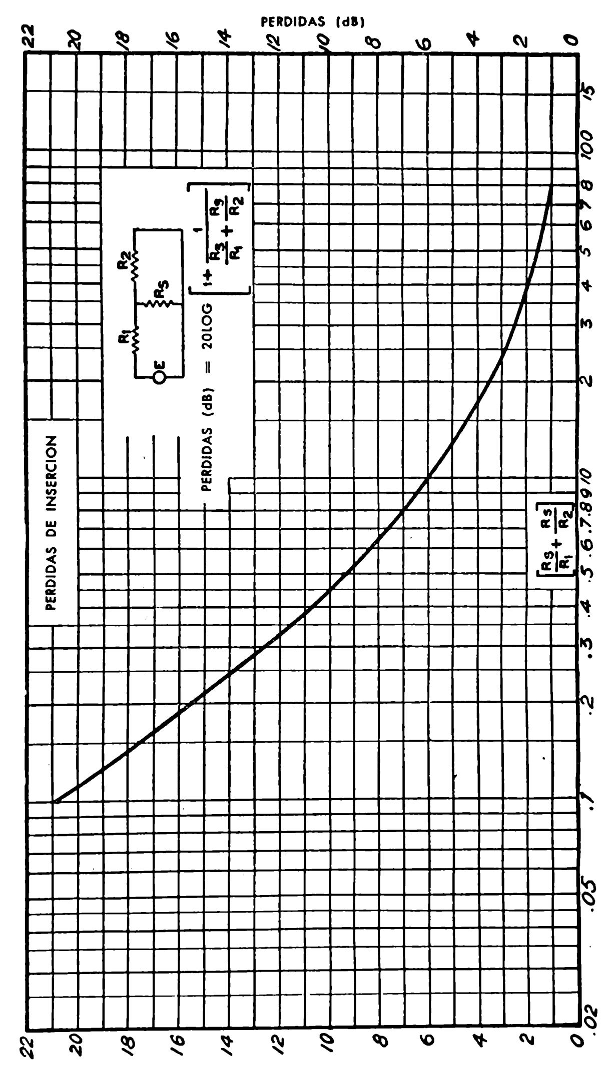


Fig. 12. — Solución gráfica de los problemas producidos por la inserción de una resistencia en paralelo con la carga.

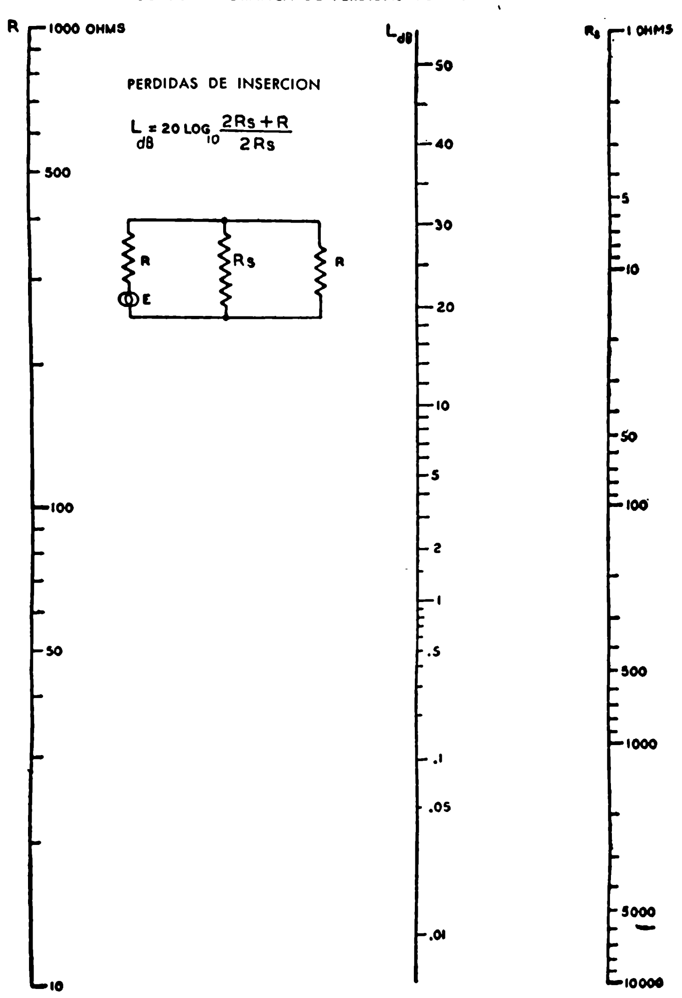


Fig. 13. — Nomograma para la solución de problemas de pérdida de inserción.

Considerando:

$$R_g = R_L = 1000\,\Omega;\ L = 1{,}6 \text{ henry}$$

a)

$$\frac{I'_L}{I_L} = \frac{R_g + R_L}{R_g + R_L + jX}$$

donde $Z_1 = jX$, siendo $X = 2\pi fL = 500\,\Omega$.

$$\frac{I'_L}{I_L} = \frac{1000 + 1000}{\sqrt{(1000 + 1000)^2 + 500^2}} = 0{,}969$$

lo que representa una pérdida de:

$$20 \log_{10} \left(\frac{1}{0{,}969}\right) = 0{,}3 \text{ dB}$$

b) a 10.000 c/s; $X = 2 \times 3{,}1416 \times 1{,}6 \times 10.000 = 100.000\,\Omega$
por lo tanto:

$$\frac{I'_L}{I_L} = \frac{R_g + R_L}{R_g + R_L + jX}$$

y colocando valores numéricos:

$$\frac{I'_L}{I_L} = \frac{2000}{\sqrt{2000^2 + 100.000^2}} = 0{,}02$$

lo que representa una pérdida de 34 dB.

Solución gráfica. — Todos los problemas de atenuación producidos por inserción de una resistencia en paralelo con la carga, pueden solucionarse facilmente mediante el gráfico simple de la fig. 12 ó el nomograma de la fig. 13. El primero de ellos ha sido trazado para valores de R_g y R_L distintos, en tanto que en el nomograma se toma $R_g = R_L$.

Es interesante consignar que la curva de la fig. 12 es indicada para efectuar correcciones en los decibelímetros cuando la resistencia del circuito en que se efectúa la medición es distinta de la resistencia del nivel cero de potencia del instrumento. Estas curvas como los problemas dados como ejemplo se han tomado de *John K. Hillard* (Motion Picture Sound Engineering, 3a. edic.).

En la fig. 14 se expone otro gráfico más (*Henney*, Radio Engineering Handbook)*, que permite establecer la pérdida de transmisión debido a la inserción de impedancias serie o paralelo.

---

* Existe edición H.A.S.A. en castellano.

9. Proyecto de controles de volumen por pasos.

VII) Un problema que se presenta frecuentemente, es el de *calcular un control de volumen*, dispuesto en el circuito de una válvula amplificadora de tensión. Con el fin de que la progresión de tensión, al pasar de un tope al otro de la llave selectora, se efectúe en forma logarítmica, cosa que dará lugar a que el crecimiento de la intensidad sonora, a la salida del amplificador, sea aproximadamente lineal para el oído; ya que hemos visto, más atrás, que la respuesta del oído es logarítmica, por lo que responderá linealmente a una señal de crecimiento logarítmico y logarítmicamente a una señal de crecimiento lineal. En una palabra, debe calibrarse el control de volumen en "decibeles" (fig. 15).

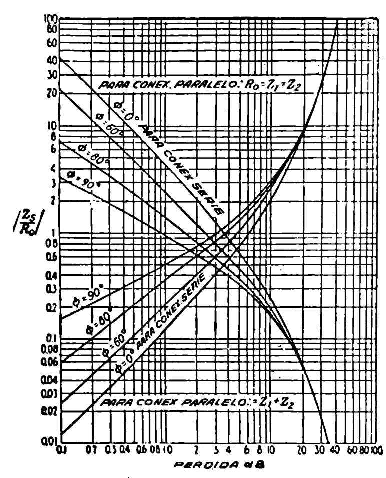


Fig. 14. — Pérdida de transmisión debido a la inserción de impedancias en serie o paralelas.

Para efectuar este proceso aplicaremos la siguiente fórmula:

$$N = 20 \log_{10} \left(\frac{R}{r} \right)$$

donde R representa la resistencia total del potenciómetro por pasos y r la resistencia parcial que se desea calcular. El valor de R queda fijado por la impedancia de la fuente generadora de señal (válvula, fonocaptor o micrófono).

Supongamos que deseamos una atenuación máxima de 20 decibeles y que el aumento de un paso a otro sea de 2 dB. Para calcular la resistencia r correspondiente a la atenuación de 20 dB, tendremos que escribir:

$$20 = 20 \log_{10} \left(\frac{R}{r} \right)$$

por lo que:

$$\log_{10} \left(\frac{R}{r} \right) = 20/20 = 1$$

y como 1 es el logaritmo de 10, entonces es claro que:

$$\left(\frac{R}{r} \right) = 10$$

de modo que:

$$r = \frac{R}{10} = 0{,}1\ R$$

Este será el valor de R_{11}. Veamos, ahora el valor de R_{10}, con el fin de establecer el valor de r para una atenuación de 18 dB. Como antes escribiremos:

$$18 = 20 \log_{10}\left(\frac{R}{r}\right)$$

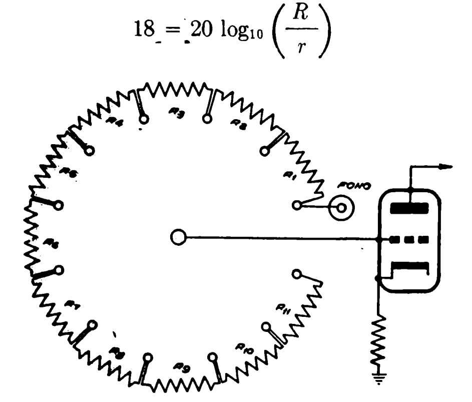


Fig. 15. — Control de volumen por pasos calibrados en decibeles.

De modo que:

$$\log_{10}\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{18}{20} = 0{,}9$$

y como 0,9 es el logaritmo decimal de 7,94:

$$r = \frac{R}{7{,}94} = 0{,}126\ R$$

Pero este valor de r es desde el tope correspondiente a la posición (—18) dB al chasis, de modo que para establecer el valor de la porción comprendida solamente entre los topes (—18) y (—20) dB habrá que descontar el valor de R_{11}; en una palabra:

$$r_{10} = 0{,}126\ R — 0{,}1\ R = 0{,}026\ R$$

Procediendo de la misma forma, podremos calcular todas las otras resistencias integrantes del control de volumen logarítmico; así:

$R_{11} = 0{,}1\ R$ | $R_5 = 0{,}0815\ R$
$R_{10} = 0{,}026\ R$ | $R_4 = 0{,}1025\ R$
$R_9 = 0{,}0325\ R$ | $R_3 = 0{,}135\ R$
$R_8 = 0{,}041\ R$ | $R_2 = 0{,}164\ R$
$R_7 = 0{,}0517\ R$ | $R_1 = 0{,}106\ R$
$R_6 = 0{,}065\ R$

Evidentemente, podremos llegar a los mismos resultados consultando las tablas de decibeles, puesto que (—20) dB, por ejemplo, corresponden a una relación de tensiones de 0,1. A su vez, (—18) dB representan una relación de tensiones de 0,126, de modo que restando 0,1 tendremos los 0,026 R para R_{10}. Y, en la misma forma, podemos proceder para todos los puntos restantes del potenciómetro por pasos.

10. Cálculo de atenuadores.

VIII) En ciertas aplicaciones prácticas, el control de volumen debe cumplir determinadas condiciones específicas. Así, por ejemplo, en el caso de los controles para altoparlantes, es necesario que se respeten las siguientes características de trabajo:

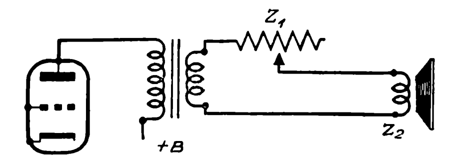


Fig. 16. — Control de volumen interno para parlantes.

1) no debe alterar la impedancia de entrada y salida;

2) las pérdidas de inserción deben ser reducidas al mínimo posible;

3) debe comportarse igual a todas las frecuencias.

El caso clásico es el de la fig. 16 donde puede verse que la simple inserción de una resistencia variable no conforma con las condiciones recién estipuladas, puesto que se tendrá una elevación de la impedancia de la bobina móvil del parlante regulado. Asimismo, puesto que la potencia eléctrica se divide entre la resistencia del control y la impedancia de la bobina móvil, el efecto de la variación de la resistencia será mayor a las frecuencias medias que en las altas, debido a que al llegar a estas últimas se produce una elevación de la impedancia y, entonces, la proporción de la resistencia del control de volumen en la totalidad de la resistencia del circuito será menor.

Para evitar estos inconvenientes se hace uso de los controles de volumen de impedancia constante o *"atenuación"*, pudiendo verse en la fig. 17 la

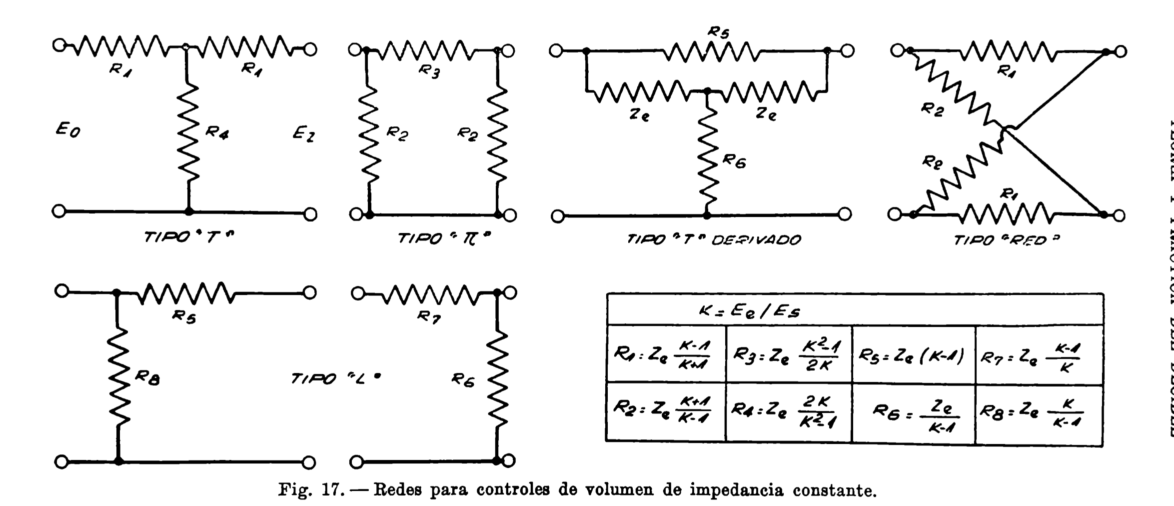


Fig. 17. — Redes para controles de volumen de impedancia constante.

configuración de los tipos más utilizados en los circuitos eléctricos. Igual como en el caso de los controles por pasos, también aquí se pueden construir atenuadores calibrados en decibeles, siendo un ejemplo el que se pre-

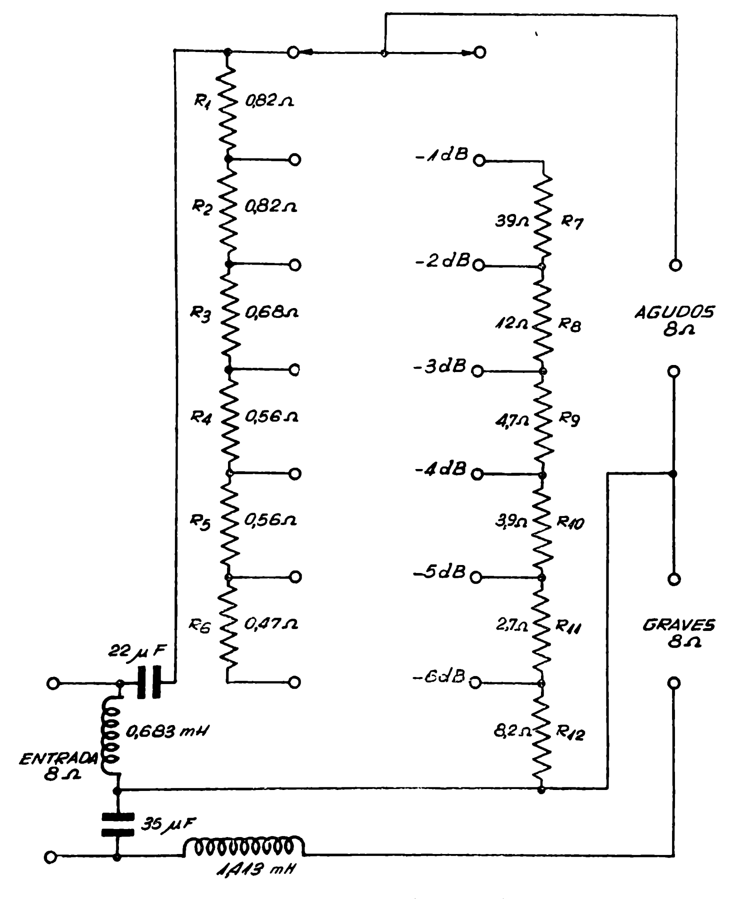


Fig. 18. — Atenuador variable en "L".

senta en la fig. 18 que representa un atenuador variable en *L* en el circuito de salida de un divisor de frecuencias para parlantes coaxiles.

La atenuación producida por un circuito atenuador está determinada por la fórmula

$$dB = 20 \log_{10} K$$

siendo:

$$K = \frac{E_e}{E_s}$$

donde E_e = tensión de entrada al atenuador y E_s = tensión de salida.

La tabla insertada en la fig. 17 nos permite determinar el valor de cada una de las resistencias componentes, conociendo el valor de la impedancia Z_1 de la fuente (se considera que las impedancias de entrada y salida son iguales) y la atenuación "K" deseada.

TABLA XIV

VALORES PARA ATENUADORES "T", "L", "π"

Atenuación (dB)	K	Tipo "T"		Tipo "π"		Tipo "L"	
		R 1	R 4	R 3	R 2	R 5	R 6
1	1,122	5,76	866	11,6	1740	10,9	819
2	1,259	11,46	430	23,2	874	20,6	386
3	1,413	17,10	284	35,2	585	29,3	242
4	1,585	22,6	210	47,6	443	36,9	171
5	1,778	28,0	164	61,0	357	43,8	129
6	1,995	33,2	134	74,6	302	49,9	100,5
7	2,259	38,2	112	89,3	262	55,4	80,7
8	2,512	43,1	94,6	106	232	60,2	66,1
9	2,818	47,6	81,2	123	210	64,5	55,0
10	3,162	51,9	70,3	142	193	68,4	46,2

NOTA: Esta tabla está calculada para una impedancia Z = 100 ohm. En el caso de otros valores de impedancia, multiplicar el valor indicado en la tabla por $Z_x/100$.

Todos los cálculos referentes a los circuitos atenuadores pueden abreviarse sobremanera mediante los gráficos y ábacos de *N. H. Crowhurst* (Attenuator Design, Radio Electronics, Dic. 1953) que reproducimos más adelante.

11. Niveles de intensidad producidos por los altoparlantes.

IX. La *R. M. A.* establece el nivel de intensidad producido por un altoparlante en funcionamiento, midiéndolo en el eje, a una distancia de 10 m, con una potencia eléctrica de entrada dada y con varias frecuencias de prueba (generalmente 300 a 3300; 500 a 2500; 500 a 1500 c/s). El nivel de inten-

sidad disminuye en 6 dB cada vez que la distancia se duplica, o aumenta 6 dB cada vez que la distancia se reduce a la mitad.

El nivel de intensidad aumenta 3 dB cuando la potencia de entrada al altoparlante se duplica y 6 dB cuando se cuadruplica.

Veamos un ejemplo (*Langford Smith*, Radio Designer's Handbook): A una distancia de 10 m sobre el eje, un altoparlanté, produce un nivel de 81,5 dB (nivel cero = 10^{-16} watt/cm²) con 8 watt de entrada, siendo la frecuencia variable de prueba 500 a 2500 c/s. Determinar el nivel de intensidad en el eje a una distancia de 1,8 m con 3 watt de entrada.

Efecto del cambio de distancia = $20 \log_{10} (30/6) = + 14$ dB.

Efecto del cambio de potencia de entrada = $10 \log_{10} (3/8) = - 4,3$ dB.

Cambio neto = + 9,7 dB.

Nivel de intensidad a 1,8 m con 3 watt de entrada = 81,5 + 9,7 = 91,2 dB.

X) En otros casos, los fabricantes suministran las curvas de presión de sonido en función del rango de frecuencias. En este caso, el nivel de referencia es de 0 dB = 10 dina/cm², y la distancia del micrófono de 61 cm. Supongamos, como ejemplo ilustrativo, que el nivel de salida es de — 1 dB para una entrada de 0,1 watt eléctrico al parlante. El nivel a una distancia de 10 m, para una potencia de entrada de 8 W será:

$$-1 + 19{,}03 - 23{,}52 = -5{,}49 \text{ dB} \quad (0 \text{ dB} = 10 \text{ dina/cm}^2)$$

o, refiriéndose a la base de 0 dB = 0,0002 dina/cm²

$$-5{,}49 + 93{,}98 = +88{,}5 \text{ dB}$$

XI) Puede suceder que se suministre el rendimiento del parlante (por ejemplo, 3 %), deseándose calcular la intensidad a una distancia de, por ejemplo, 10 m con una entrada de 8 watt. El factor desconocido es el ángulo de radiación, pero a frecuencias hasta 800 c/s éste puede considerarse como de 180° (considerando un parlante de radiación directa y una pantalla acústica infinita), pudiendo utilizarse el gráfico de la fig. 19. En este caso la salida acústica será de $8 \times 0{,}03 = 0{,}24$ watt y la intensidad de 87 dB a 10 m.

A frecuencias más elevadas, habrá un efecto de enfoque, y la intensidad en el eje será algo mayor que el valor calculado. En el gráfico los valores distancias (en las diagonales) figuran en pies (1 pie = 0,305 m).

12. Potencia de salida de un altoparlante.

XII) De acuerdo con la *R. M. A.* el régimen de presión de un altoparlante es la diferencia entre el nivel de presión sonora axil (referida a una distancia de 10 m) y el nivel de potencia de entrada disponible, expresándose en dB.

Las siguientes ecuaciones se aplican en estos casos:

$$G_{sp} = 10 \log_{10} \left[\frac{(p_s/(p_o)^2}{(W_{as}/W_o)} \right] \qquad (1)$$

Tomando, para p_o = presión sonora de referencia = 0,0002 dina/cm² y para W_o = nivel cero de potencia = 0,001 watt, y reemplazando estos valores en la ec. (1):

$$G_{sp} = 44 + 20 \log_{10} p_s - 10 \log_{10} W_{as} \qquad (2)$$

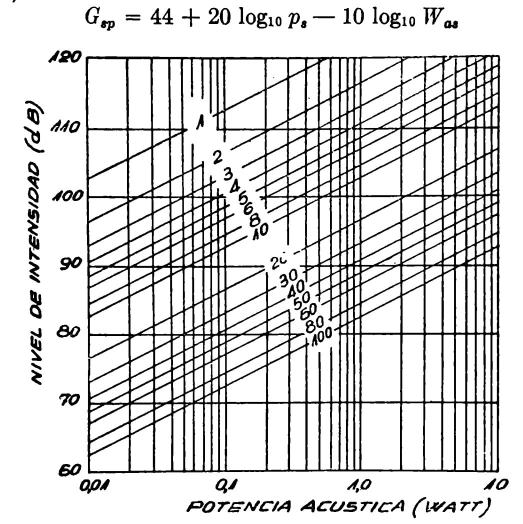


Fig. 19. — Nivel de intensidad acústica en función de la potencia acústica. Las diagonales dan las distancias en pies (1 pie = 0,305 m).

Donde: G_{sp} = régimen de presión del parlante, en dB;

p_s = presión sonora axil, en el espacio libre, a 10 m, en dina/cm²;

W_{as} = potencia eléctrica aplicable al parlante, en watt, que es igual a:

$$W_{as} = \frac{E_g^2 R_{sr}}{(R_{sg} + R_{sr})^2}$$

Fig. 20.—Circuito del parlante.

E_g = tensión eficaz constante de la fuente, en volt;

R_{sr} = impedancia de régimen del parlante, en ohm.

Por lo tanto, podemos escribir (2) en la siguiente forma:

$$G_{sp} = 44 + 20 \log_{10} p_s - 20 \log_{10} E_g + 10 \log_{10} R_{sr} + $$
$$+ 20 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{R_{sg}}{R_{sr}}\right)\right]$$

La presión en dB por arriba de p_0 será igual a G_{sp} + (potencia en dBm).

Veamos un ejemplo ilustrativo de aplicación de estas fórmulas: Si el régimen de presión del parlante (G_{sp}) es de 46 dB, determinar cuál es el nivel de presión sonora a 10 m, con una potencia de entrada de 10 watt, utilizando una señal normal de prueba:

$G_{sp} = 46$ dB; $W_{as} = 10$ watt $=$
$= 40$ dBm

Aplicando la ec. (2):

$20 \log_{10} p_s = 46 - 44 + 10 \log_{10}$
$= 12$ dB

por lo tanto $p_s = 4$ dinas/cm² (= 86 dB con respecto a p_o).

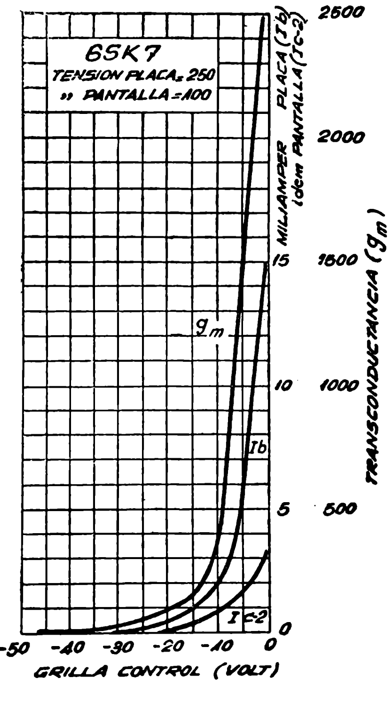


Fig. 21. — Características de la válvula 6SK7.

13. Cálculos en el proyecto de circuitos de control automático de sensibilidad.

XIII) Los ejemplos que a continuación expondremos están basados en los desarrollos debidos a *B. Sandel* (Langford Smith, Radio Designer's Handbook), *E. E. Zepler* (Technique of Radio Design), *K. R. Sturley* (Radio Receiver Design), *W. T. Cocking* (The design of A. V. C. Systems) y *S. W. Amos* (A. V. C. Calculations. Wireless World, feb. 1947).

Supongamos que se trate de una válvula *6SK7*, pentodo de corte remoto, cuyas características se exponen en la fig. 21. La polarización es de — 3 volt y la conductancia mutua (g_m) para esta condición es de 2000 micromho. Para una polarización negativa de — 35 volt, la conductancia mutua es de 10 micromho. Si se llega a emplear autopolarización, se producirá un error, pero el mismo puede despreciarse en la práctica.

El primer paso en el proyecto es convertir la curva $g_m - E_g$ en otra que permita exponer el cambio, en la ganancia de la etapa controlada, con la variación de la polarización de grilla. No se necesita establecer el valor real de ganancia de la etapa, debido a que se parte de la base de que es directamente proporcional a la conductancia mutua.

El cambio en la conductancia mutua se expresa en decibeles, tomando como nivel de referencia (0 dB) el valor de conductancia mutua para máxima ganancia, o sea la conductancia mutua con sólo la polarización de grilla (— 3 V) aplicada a la misma. En este caso la g_m utilizada para nivel cero de referencia es 2000 micromho. Por lo tanto, utilizando la expresión:

$$\textit{Cambio en la ganancia (dB)} = -20 \log_{10} \left(\frac{g_m \, (E_{c1} = -3 \text{ v})}{g_m} \right) =$$

$$= -20 \log_{10} \left(\frac{2000}{g_m} \right)$$

se obtendrán los valores de la Tabla XV, tomándose los datos para g_m de la curva de la fig. 21.

TABLA XV

CAMBIO EN LA GANANCIA EN FUNCION DE LA G_m

Polarización de grilla (volt)	Conductancia mutua (micromho)	Cambio en la ganancia (dB)
— 3	2000	0
— 4	1750	— 1,15
— 5	1438	— 2,86
— 6	1200	— 4,44
— 7	925	— 6,99
— 8	700	— 9,13
— 9	520	— 11,7
— 10	383	— 14,4
— 12,5	225	— 19
— 15	138	— 23,2
— 17,5	90	— 26,9
— 20	70	— 29,1
— 22,5	50	— 32
— 25	40	— 34
— 27,5	30	— 36,5
— 30	25	— 38
— 32,5	18	— 41
— 35	10	— 46

NOTA: La polarización negativa de grilla es igual a — (3 + polariz. c. a. s.).

Estos resultados son llevados a la fig. 22 como curva 1. Obsérvese que la pendiente media es 1,4 a 1,5 dB por volt.

A continuación se requiere la determinación de la tensión de polarización

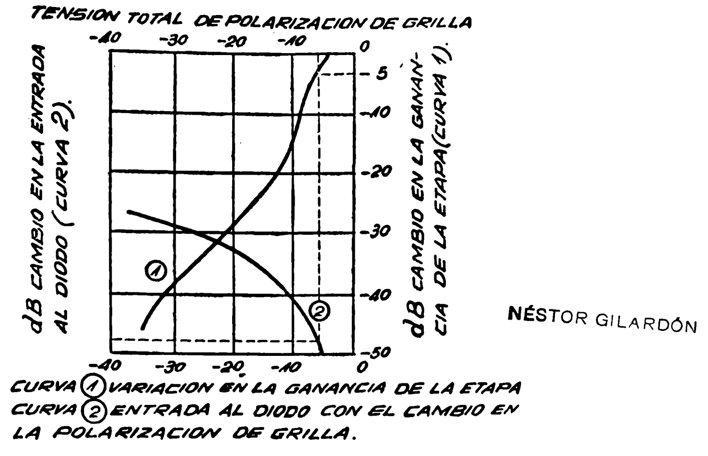


Fig. 22. — Datos de la tabla XV llevadas al gráfico.

de c. a. s. desarrollada por el circuito del diodo, para diversas tensiones de entrada aplicadas al diodo. En un caso típico la resistencia de carga del

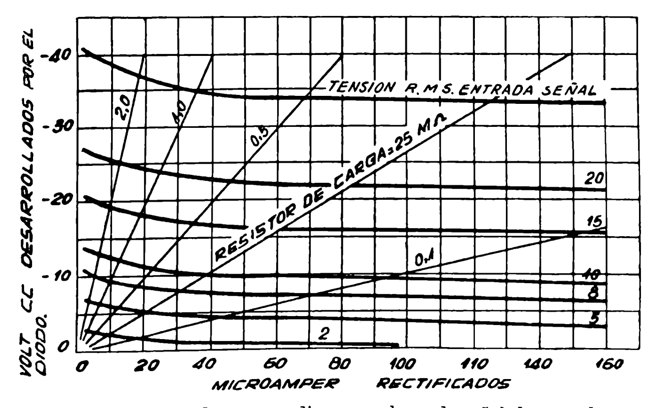


Fig. 23. — Tensiones de c.c. por diversos valores de señal de entrada.

diodo a la c. c. sería de 1 megohm, y la tensión de c. c. desarrollada para varias tensiones de señal de entrada puede tomarse de la fig. 23. Las tensiones de c. c. se tabulan en la columna 2 de la Tabla XVI en función de la señal eficaz aplicada al diodo.

TABLA XVI

TENSION DE POLARIZACION DE C.A.S. PARA DIVERSAS TENSIONES DE ENTRADA

E_{rms} (señal de entrada al diodo) (volt)	Polarización C.A.S. (volt)	Polariz. Total (= CAS + polarización fija) (volt)	Cambio de señal de entrada al diodo (dB)
2	— 2,2	— 5,2	0
5	— 6,2	— 9,2	8
8	— 9,1	— 12,1	12
10	— 11,8	— 14,8	14
15	— 17,8	— 20,8	17,5
20	— 23,9	— 26,9	20
30	— 35,6	— 38,6	23,5

Ahora es necesario relacionar la polarización total (c. a. s. + polariz. fija) con el cambio en la tensión de entrada al diodo; el cambio se expresa en decibeles. Cualquier tensión de señal aplicada al diodo puede tomarse como nivel cero de referencia (0 dB), y en nuestro caso $E_{ef} = 2$ volt será conveniente. Entonces el cambio en la tensión de entrada del diodo queda dado por:

$$\textit{cambio en dB en la entrada del diodo} = 20 \log_{10} \frac{E_{rms}}{E_{rms}\ (\text{para polar. total} = -5{,}2\ \text{v})} =$$

$$= 20 \log_{10} \frac{E_{rms}}{2}$$

Los resultados quedan tabulados en la columna (4) en la Tabla XVI, y la polarización total, en función del cambio de señal de entrada al diodo, se dibuja como la curva (2) en la fig. 22.

Finalmente, se requiere encontrar la forma cómo cambia la salida con los cambios en la señal de entrada al amplificador. Si consideramos diversos valores para el cambio en la tensión de señal aplicada al diodo, es sencillo determinar la polarización total de grilla, y de esto al cambio en la ganancia de la etapa, mediante el empleo de las curvas (*1*) y (*2*). Asimismo, de estas curvas, se puede ver que, con cambio cero en la entrada al diodo (0 dB), la etapa amplificadora tiene una ganancia de 3 dB por debajo de la máxima

ganancia posible. Esto se debe a que se ha tomado $E_{rms} = 2$ volt como nivel cero de referencia. Si ahora consideramos un cambio de 2 dB en la entrada al diodo, el cambio real en la ganancia de la etapa es (— 4,3) — — (— 3) = — 1,3 dB. Debido a que la entrada de tensión aplicada al diodo ha aumentado 2 dB, y la ganancia de la etapa amplificadora se ha reducido 1,3 dB, se deduce que la tensión de señal aplicada a grilla del amplificador debe haber aumentado 2 + 1,3 = 3,3 dB.

El cambio de tensión continua de salida a través de la carga del detector, para un cambio de 3,3 dB en la entrada de señal, es de (— 2,2) a (— 2,9) volt,

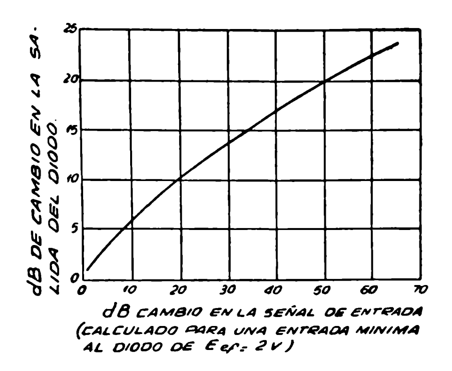


Fig. 24. — Característica completa del C.A.S.

lo que da, consultando las curvas de la fig. 22, un cambio de la tensión total de polarización de (— 5,2) a (— 5,9) volt, que corresponde respectivamente a (— 2,2) volt y (— 2,9) volt a través de la carga del diodo, cuando la polarización fija es de (— 3) volt. Expresando el cambio de tensión continua de salida en decibeles, tenemos:

$$\textit{Cambio en la salida (dB)} = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{Polarización de c. a. s.}}{\text{polariz. de c. a. s. para } E_{rms} = 2 \text{ v}} \right) =$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{\text{Polarización c. a. s.}}{-2,2} \right)$$

De lo dicho, tenemos para un cambio de 3,3 dB en la tensión de entrada de señal (2 dB de cambio en la entrada del diodo) un cambio correspondiente a la salida de 2,4 dB. La característica completa de c. a. s. se puede

tabular como se muestra en la Tabla XVII o bien se puede llevar a un gráfico como el de la fig. 24.

TABLA XVII

CARACTERISTICA COMPLETA DE C.A.S.

Cambio en la entrada del diodo (dB)	Tensión de polarización del C.A.S. (volt)	Cambio en la señal de entrada (dB)	Cambio en la salida del diodo (dB)
0	— 2,2	0	0
2	— 2,9	3,3	2,4
4	— 3,5	6,5	4,0
6	— 4,5	10,6	6,2
8	— 6	16,8	8,7
10	— 7,5	22	10,6
12	— 9,1	27,2	12,3
14	— 11,8	33,9	14,6
16	— 15	40	16,7
18	— 18,5	46	18,5
20	— 23,9	52,8	20,7
22	— 29,5	60	22,5
22,8	— 32	65,8	23,2

Puede verse que un cambio de 60 dB en la señal de entrada, suministra un aumento de 22,5 dB en la salida. Puede verse, asimismo, que en la mayor parte de los casos la entrada del diodo es directamente proporcional a la salida del mismo, no necesitándose efectuar más cálculos adicionales. Así, por ejemplo, un cambio de 60 dB en la señal de entrada, suministra 22 dB en la entrada del diodo ó 22,5 dB de cambio en la salida. Para tres etapas similares controladas, el cambio en la salida se reducirá a 7,5 dB. Si las válvulas controladas no son iguales, deberán dibujarse las curvas individuales entrada-salida y los resultados combinados para suministrar la característica completa del c. a. s.

14. Atenuación expresada como constante de tiempo.

XIV) En el proyecto de receptores modulados en frecuencia, es práctica común expresar el grado de pre-énfasis (refuerzo de agudos), en el transmisor, como una constante de tiempo de tantos microsegundos, y el grado de de-énfasis (atenuación de agudos) en el receptor en la misma forma. Los métodos están fundamentalmente interrelacionados, debido a que la constante de tiempo en segundos es igual a RC, donde R es la resistencia en ohm y C es la capacitancia en farad. En el caso general:

$$\textit{atenuación en dB} = -10 \log_{10} (1 + \omega^2 T^2)$$

donde $\omega = 2\pi f$

$T = CR$ = constante de tiempo en segundos;

R = resistencia efectiva total de la fuente.

En el caso particular en que T = 75 microsegundos y f se expresa en Kc/s:

$$\textit{atenuación en dB} = -10 \log_{10} (1 + 0{,}222 f^2)$$

15. Problemas en transformadores.

XV) Si la resistencia de placa de una válvula es de 10.000 Ω, establecer cuál debe ser la impedancia y la inductancia del primario de un transformador acoplado directamente a la válvula, con el fin de que la salida de la misma quede atenuada 3 dB a 30 c/s.

$$20 \log_{10} \left(\frac{E_g}{E_L}\right) = 3 \text{ dB}$$

Consultando una tabla de relaciones de tensiones, tenemos que:

$$\frac{E_g}{E_L} = 1{,}413$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{E_L}{E_g} = 0{,}707$$

Donde: E_L = tensión a través de la carga;

E_G = tensión teórica de salida de la válvula (considerando la resistencia de placa a filamento como exterior a la válvula).

Como el seno de 45° = 0,707, podemos escribir, por lo tanto:

Angulo de fase = 45°;

$$t_g\, 45° = 1 = \frac{E_L}{E_p}$$

y en consecuencia:

$$\frac{E_L}{X_L} = \frac{E_p}{R_p}\text{; de modo que } \frac{X_L}{R_p} = 1 \text{ y } X_L = R_p$$

Resumiendo:

$$X_L = 10.000 = 2\pi fL = 2\pi \times 30 \times L$$

$$L = \frac{10.000}{2\pi \times 30} = \frac{10.000}{188{,}4} = 53 \text{ henry.}$$

16. Cálculo de la potencia acústica necesaria para la correcta reproducción de la palabra.

XVI) Las experiencias realizadas por *Fletcher* han demostrado que la conversación, a una distancia de 75 cm, ocupa una banda de frecuencia de 62 a 8000 c/s. En cuanto a la potencia media desarrollada durante una conversación normal, se ha calculado en 10 microwatt (a pesar de que de acuerdo con recientes investigaciones efectuadas por *Dunn* y *White*, parece que debe elevarse ese valor a 34 microwatt), ascendiendo a 5 miliwatt durante los pasajes fuertes y bajando a 0,01 microwatt durante los pasajes débiles. El valor de cresta puede elevarse de 100 a 200 veces por sobre el valor medio.

El valor anteriormente indicado de 10 microwatt, representa un nivel de intensidad sonora de 61 dB sobre el nivel mínimo de audibilidad. Ahora bien, sabemos que la intensidad sonora por cm^2 se obtiene dividiendo la potencia total en la fuente por $4\,\pi\,r^2$, tomando r en cm. Luego:

$$\textit{Intensidad sonora} = \frac{10}{4 \times 3{,}1416 \times 75 \times 75} = $$
$$= 15 \times 10^{-5}\ \mu W/cm^2$$

Para establecer el nivel de intensidad sonora que representa esta intensidad debemos efectuar la relación con respecto al nivel mínimo de audibilidad (que como sabemos es de $10^{-10}\ \mu W$). Luego:

$$n = 15 \times \frac{10^{-5}}{10^{-10}} =$$
$$= 1.500.000$$

que puede expresarse en decibeles:

$$dB = 10 \log_{10} (1.500.000) =$$
$$= 61$$

pudiendo llegar las crestas a un nivel de intensidad sonora de 80 dB.

17. Cálculo de la potencia acústica necesaria para la correcta reproducción de la música.

XVII) Estudios de estos últimos años acerca de los niveles máximos de intensidad sonora de una orquesta, han conducido a resultados como los que se exponen en la fig. 25. En ella puede verse que el nivel eficaz máximo de intensidad sonora, para el caso de una orquesta, se halla en los 82 dB, desarrollándose en una banda crítica de frecuencias de 250 a 500 c/s. La intersección de esta curva con la curva correspondiente al nivel mínimo de

audibilidad, nos suministra los límites de la banda de frecuencias que se necesitan para la transmisión de todos los componentes audibles, que son de 40 a 15.000 c/s para un oyente común y de 32 a 21.000 c/s para un oyente crítico. También se expone en la fig. 25 el nivel más probable de ejecución, que en algunas frecuencias llega a bajar hasta 14 dB con respecto al nivel máximo.

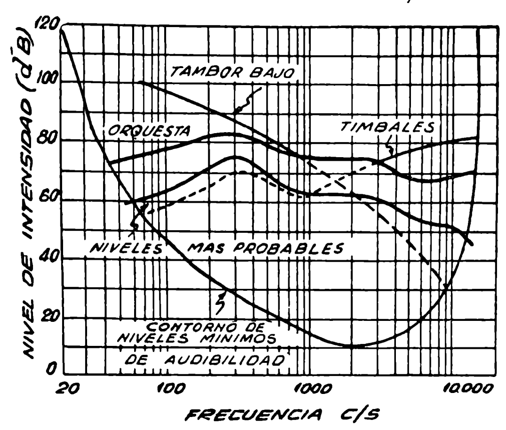


Fig. 25. — Niveles máximos de intensidad sonora de una orquesta.

De acuerdo con lo anterior, para la correcta reproducción de la música orquestal es necesario que el audioamplificador suministre una potencia acústica tal que desarrolle un nivel de intensidad sonora de 82 dB, a una distancia de 20 pies (aproximadamente 6 metros). Las investigaciones realizadas, demuestran que los picos de intensidad sonora dan lugar a un nivel de 107 dB, como es el caso de la música reproducida correspondiente a órganos grandes.

Si a estos valores agregamos una potencia adecuada de reserva para el parlante, (unos 20 dB), que contemple la colocación de refuerzos de bajos, expansión, etc., en el audioamplificador, tenemos que este último debe calcularse como para producir un nivel de intensidad sonora de 120 dB en el recinto o sala de audición. Para el caso de la reproducción de la palabra solamente, será suficiente con un refuerzo de 10 dB.

En el caso de amplificadores de dos canales, con frecuencias de transición entre 4000 y 5000 c/s, debe tenerse en cuenta que el nivel de 82 dB (crestas de 107 dB) reza sólo para el canal de graves, puesto que para el canal de agudos (como puede comprobarse de un estudio de la fig. 25) el nivel será de 67 dB, con crestas que pueden llegar a los 80 dB. En una palabra, una diferencia entre los dos canales de 15 dB (31,6 veces).

18. Cálculo de la potencia eléctrica necesaria aplicada al parlante, para obtener los niveles adecuados de intensidad sonora para la reproducción de la música y la palabra.

XVIII) El siguiente cuadro resume las relaciones entre potencia acústica y nivel de intensidad sonora, en función del volumen del recinto y tiempo de reverberación especificados, basadas en pruebas experimentales. Asimismo, se suministra el valor de la potencia eléctrica que debe suministrar el amplificador al parlante, en función del rendimiento del mismo.

TABLA XVIII

POTENCIA ACUSTICA VS NIVEL SONORO

Aplicación		**Nivel sonoro (dB)**	**Potencia acústica (W)**	**Rendimiento parlante (%)**	**Potencia eléctrica (W)**
Amplificador ideal	Música	120	25	30	83
	Palabra	90	0,025	10	0,25
Amplificador alta calidad	Música	110	2,5	10	25
	Palabra	80	0,0025	5	0,05

Puede considerarse como buena, todavía una potencia eléctrica de 0,05 watt con un parlante de 5 % de rendimiento, para el caso de la música. En todas estas consideraciones se ha partido de la base de que el volumen del recinto es de 50 m^3 y el tiempo de reverberación de 0,9 segundo.

19. Justificación de los controles de sonoridad.

XIX) En los anteriores problemas hemos establecido que el nivel de intensidad sonora máxima, durante la reproducción de música orquestal, es de 82 dB. Este mismo nivel de intensidad sonora debe mantenerse en cualquier sala donde se desee escuchar música reproducida, si es que se desea obtener una impresión similar a la que recibe el oyente en la sala de concierto; aunque, claro está, para obtener tal *nivel* de intensidad sonora en una sala pequeña, se necesitará una intensidad sonora mucho menor que en la sala de conciertos.

Escuchar la música reproducida al mismo nivel con que fué ejecutada originariamente, es mucho más importante de lo que parece, puesto que de no hacerse así se alterará la relación de sonoridad entre las diversas frecuencias de la banda de audiofrecuencias. En efecto, supongamos que se gira la perilla para escuchar con un nivel de intensidad sonora de 62 dB (— 20 dB con respecto al nivel original). Si observamos la fig. 26 (donde se ha super-

puesto la curva de distribución de los niveles sonoros máximos y probables de una orquesta sobre las curvas de igual sonoridad de Fletcher y Munson, desde los 1000 c/s para abajo), veremos que al nivel de 82 dB de la orquesta en pleno, sólo le corresponden 75 dB a la frecuencia de 1000 c/s, valor que representa una sonoridad de 75 phon (ver Cap. VII). Por su parte, a los 50 c/s le corresponde un nivel de 72 dB, que representa una sonoridad de 43 phon.

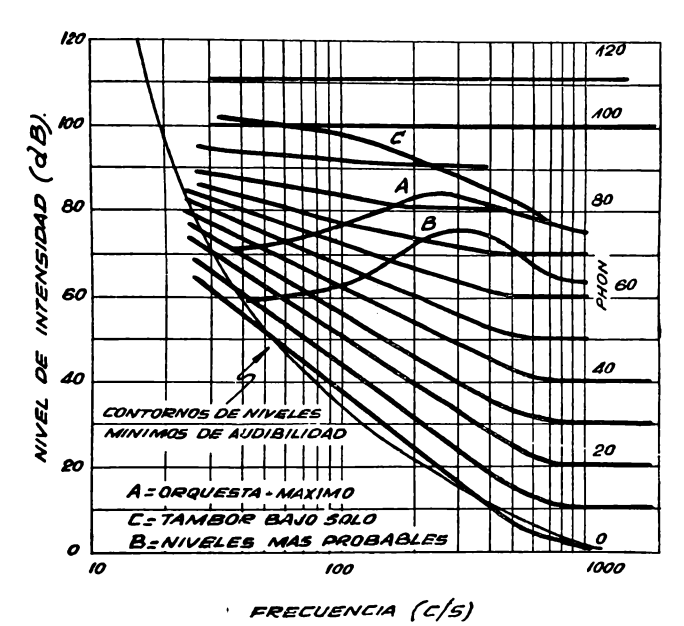


Fig. 26. — Niveles sonoros máximos y probables de una orquesta sobre las curvas isofónicas.

Si ahora bajamos, con el control de volumen, en 20 dB el nivel de intensidad (de 82 dB a 62 dB), los 75 phon correspondientes a los 1000 c/s se reducirán a 55 phon, pero los 43 phon de los 50 c/s se convertirán en 0,5 phon, llegando a un nivel muy cerca del mínimo de audibilidad.

De estas consideraciones parecería desprenderse que un método para corregir esta alteración en el nivel de sonoridad entre los 1000 c/s y los 50 c/s que en un principio era de 75 — 43 = 32 phon y luego de 55 — 0,5 = 54,5 phon, habría que efectuar un refuerzo de

$$54{,}5 - 32 = 22{,}5 \text{ phon}$$

a los 50 c/s, lo que representa llevar los 50 c/s a 22,5 + 0,5 = 23 phon.

Pero un nivel de sonoridad de 23 phon a los 50 c/s representa un nivel de intensidad sonora de 65 dB para esta frecuencia (estúdiense bien las curvas isofónicas), o sea que para mantener la misma sonoridad, si se reduce el nivel de intensidad sonora en 20 dB a los 1000 c/s (desde los 75 a los 55 dB) sólo habrá que reducir 7 dB (72 — 65 = 7 dB) el nivel de 50 c/s.

Sin embargo esto no es justo, puesto que puede demostrarse que si bien ahora habrá la misma diferencia en phon entre los 1000 c/s y los 50 c/s que antes de efectuar la reducción del nivel, ello no significa que se mantenga la misma relación de sonoridad subjetiva para el oyente. Según la *ley de Weber-Fechner*, iguales incrementos de presión no producirán iguales incrementos de sensación si el estímulo preexistente es distinto.

Lo dicho se demuestra fácilmente, puesto que el nivel original de intensidad sonora la diferencia de sonoridad entre los dos sonidos (50 y 1000 c/s) puede establecerse convirtiendo sus respectivos niveles, expresados en phon, en unidades de sonoridad, recurriendo a la curva correspondiente del capítulo VII. Obsérvese que:

1000 c/s ... 75 phon ... 12.000 unidades de sonoridad
50 " ... 43 " ... 1.200 " " "

relación de sonoridad:

$$\frac{12.000}{1.200} = 10 \text{ veces}$$

Al bajar el nivel sonoro total en 20 dB, la diferencia de sensación sonora será, ahora

1000 c/s ... 55 phon ... 3000 unidades de sonoridad
50 " ... 0,5 " ... 0,5 " " "

relación de sonoridad:

$$\frac{3000}{0,5} = 6000 \text{ veces}$$

Si elevamos, con el fin de efectuar la corrección, el nivel de los 50 c/s a 65 dB:

1000 c/s ... 55 phon ... 3000 unidades de sonoridad
50 " ... 23 " ... 150 " " "

relación de sonoridad:

$$\frac{3000}{150} = 20 \text{ veces}$$

Para poder mantener las condiciones originales, o sea la diferencia primitiva de 10 veces en la sonoridad, se necesitará que la frecuencia de 50 c/s posea una sonoridad de

$$\frac{3000}{10} = 300 \text{ unidades}$$

que corresponden a 28 phon, que referidos al nivel de intensidad sonora representan, para la frecuencia de 50 c/s, un valor de 67 dB.

Resumiendo, cuando se baja la nota de 1000 c/s desde 75 a 55 phon, habrá que bajar los 50 c/s desde 27 a 67 dB solamente, o sea que habrá que efectuar un refuerzo de 20 — 5 = 15 dB a esta frecuencia.

En la misma forma se calculará para las otras frecuencias, pero el problema no es tan sencillo como parece, puesto que si en lugar de bajar 20 dB el nivel original de audición, lo reducimos en 30 ó cualquier valor, entonces todos los cálculos deben volverse a rehacer, puesto que las relaciones de sonoridad cambian con los distintos niveles de intensidad sonora. Se deduce, de todo esto, la complejidad que representa el cálculo de un control de sonoridad que funcione correctamente.

20. Problemas de proyecto en circuitos con realimentación negativa.

XX) Sabido es que la ganancia, en un circuito con realimentación negativa, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A' = \frac{A}{(1 + A\beta)} \tag{1}$$

donde A: ganancia sin realimentación; A' = ganancia con realimentación; β = porciento de realimentación; $(1 + A\beta)$ = factor de realimentación.

Si queremos expresar el *grado de realimentación* en decibeles, tendremos que establecer, previamente, la relación entre la ganancia sin realimentación y la ganancia con realimentación y, luego, multiplicar el logaritmo decimal de esta relación por 20:

$$\textit{Realimentación}\ (\text{dB}) = 20 \log_{10} \left(\frac{A}{A'}\right) \tag{2}$$

donde A = ganancia sin realimentación y A' = ganancia con realimentación.

También puede determinarse el grado de realimentación mediante esta otra expresión:

$$\textit{Realimentación}\ (\text{dB}) = 20 \log_{10} (1 + A\beta) \tag{3}$$

cosa que es lógica, puesto que $(1 + A\beta)$ es igual a (A/A'), de acuerdo con la ecuación (1).

XXI) La *ganancia efectiva* en dB de una etapa realimentada será, simplemente, la expresión en decibeles de la ecuación (1):

$$\textit{Ganancia efectiva} = 20 \log_{10} \left(\frac{A}{1 + A\beta} \right) \qquad (4)$$

que también puede escribirse:

$$= 20 \log_{10} [A - 20 \log_{10} (1 + A\beta)] \qquad (5)$$

Ejemplo: Sea una etapa amplificadora donde $A = 300$, $\beta = 0{,}1$ (10 %). Determínese el grado de realimentación y la ganancia efectiva:

a) *grado de realimentación*:

$$= 20 \log_{10} [1 + (300 \times 0{,}1)] = 20 \times 1{,}49 = 29{,}80 \text{ dB}$$

El mismo resultado se tiene aplicando la expresión (2). Para ello primero debe calcularse el valor de A' de acuerdo con la ec. (1):

$$A' = \frac{300}{1 + (300 \times 0{,}1)} = 9{,}67$$

y ahora:

$$\textit{realimentación} = 20 \log_{10} \left(\frac{300}{9{,}67} \right) = 20 \log_{10} 31 = 29{,}80 \text{ dB}$$

b) *La ganancia efectiva será*:

$$20 \log_{10} \left(\frac{300}{31} \right) = 20 \text{ dB}$$

Esto es evidente, puesto que la ganancia del amplificador sin realimentación era 300, que representa 50 dB aproximadamente. Con realimentación la ganancia era de 10 en cifras redondas, valor que representa 20 dB. La diferencia entre estos dos valores nos da la pérdida efectiva, en decibeles 50 — 20 = 30 dB, que es justamente el valor del grado de realimentación que hemos obtenido anteriormente.

XXII) El ángulo de desplazamiento de un amplificador es, normalmente, función de las características de atenuación (*Langford Smith*, Radio Designers' Handbook). Por ello es posible proyectar un amplificador realimentado en base a la característica de atenuación. Si ésta es una línea recta (trazada con una escala de frecuencias logarítmica), con una pendiente de 6 dB/octava, entonces el ángulo de fase máximo será de 90° y así sucesivamente en proporción; 12 dB/octava suministra 180° de ángulo de fase y 18 dB/octava da 270°. La condición que debe satisfacerse es que el amplificador constituya un dispositivo de mínimo desplazamiento de fase.

La fig. 27 muestra pendientes de 6 y 12 dB/octava y mayores también. La característica de atenuación de 12 dB/octava es el valor límite de estabilidad. Un amplificador práctico requiere un margen de seguridad entre la pendiente de su característica y el valor límite de 12 dB/octava. Una pendiente típica de proyecto es 10 dB/octava, suministrando un margen de seguridad angular de 30°.

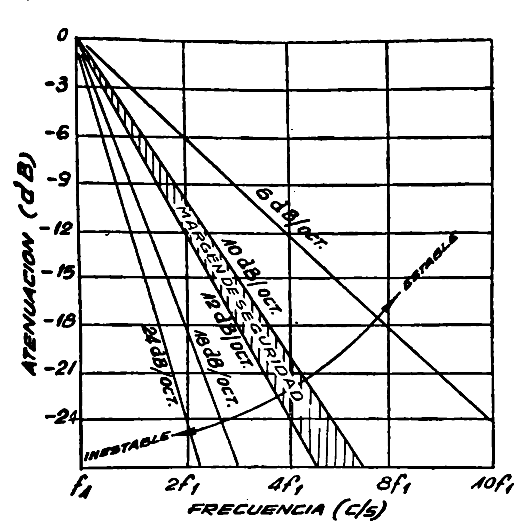


Fig. 27. — Atenuamos en dB, en función de la frecuencia, para diversas pendientes.

21. Elección de la curva del control de volumen.

XXIII) En un audioamplificador en el cual la salida máxima es de 40 dB con respecto a la salida mínima, el control de volumen debe estar proyectado de modo tal que cada 1/40 de rotación corresponda a 1 dB de atenuación (*Keith Henney*, The Radio Engineering Handbook). Si el control de volumen posee una atenuación de 80 dB, más de lo que es necesario en este amplificador particular, cada 1/40 de rotación corresponderá a 2 dB de atenuación, puesto que solamente la mitad de la rotación total puede emplearse. En el segundo caso el control será más crítico que en el primero.

En un receptor de radio, el proyecto del control de volumen difiere ampliamente, dependiendo de si el equipo posee c. a. s. o no. En este último caso, toda la ganancia de tensión deberá estar bajo control, posiblemente 120 dB. El hecho de que los sistemas de c. a. s. no puedan entregar una tensión uniforme al detector, debido a las grandes variaciones de la tensión

de entrada (desde un microvolt a varios volt) hace que sea necesario una forma distinta de la curva de atenuación que en el caso de un amplificador de audio. En la fig. 28 se expone una curva adecuada (Centralab) para los receptores dotados con c. a. s. En ella se consigue una atenuación aproximadamente uniforme de 40 dB con 80 % de rotación desde el volumen máximo. El apartamiento de la linealidad en el primer 15 % de la rotación

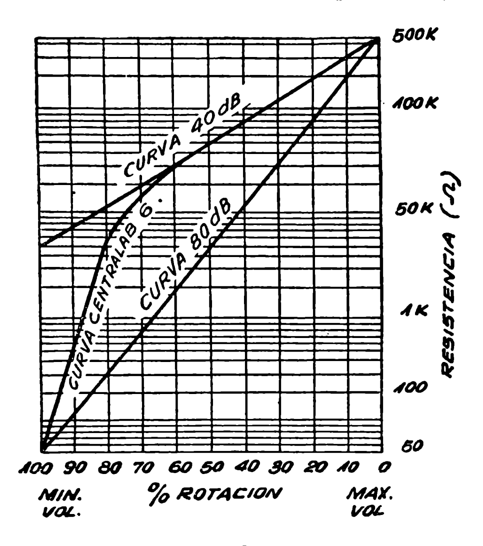


Fig. 28. — Curvas de control de volumen para receptores con CAS.

es para mantener el gradiente de resistencia dentro de los límites que representen un ruido bajo.

Entre el 80 y el 100 % de rotación, la curva cambia rápidamente para suministrar una atenuación total de 80 dB. La rápida atenuación en esta región se consigue sin ruidos debido a que el cambio de resistencia por decibel es pequeño. Tal curva es mucho más satisfactoria que una línea logarítmica recta (obsérvese la curva de 80 dB). Además es más fácil de construir.

Una curva tal que iguales incrementos en la rotación produzcan iguales incrementos en la atenuación (una línea recta cuando se traza en función del logaritmo de la resistencia) requiere que un cambio de 300 KΩ tenga lugar en el primer 10 %; 120 KΩ en el segundo 10 % y así sucesivamente hasta que el último 10 % produce un cambio de sólo 75 Ω. Esto es real para un control de 500 KΩ con una atenuación total de 80 dB.

22. El decibel y las características de grabación de discos.

XXIV) Con el fin de obtener una elevada relación de señal a ruido, durante la grabación de los discos, en las frecuencias superiores del espectro, se ha extendido, en los últimos años, la aplicación del proceso de *pre-énfasis* de agudos. En un principio, cada compañía grabadora utilizó su propio criterio acerca de la forma como este refuerzo de agudos debía efectuarse, pero con el tiempo fueron apareciendo tentativas de normalización, siendo las principales las siguientes:

NORMA N. A. B. — La *National Association of Broadcasters* aconseja que el refuerzo de agudos sea de 10,2 dB por encima del nivel de registro

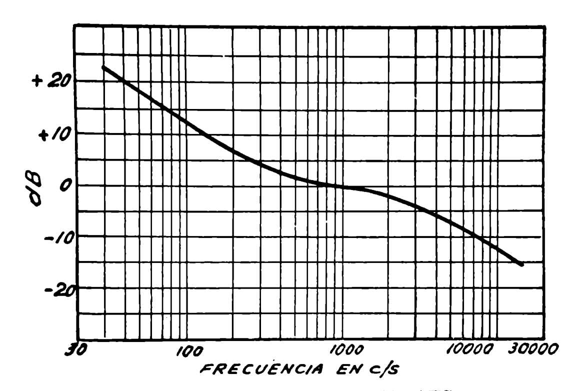


Fig. 29. — Curva de reproducción AES.

a velocidad constante, a la altura de los 5000 c/s y de 16 dB a la altura de los 10.000 c/s. Se ha adoptado este último valor partiendo del hecho de que la máxima potencia probable, a la frecuencia de 10.000 c/s, en una orquesta, es de 15 dB por debajo de la máxima potencia a los 1000 c/s. Por ello, es posible grabar con un refuerzo de 15 dB a los 10.000 c)s sin exceder la velocidad de la púa a los 1000 c/s. El pre-énfasis comienza a los 1590 c/s y se efectúa progresando a razón de 6 dB por octava, o sea 6 dB cada vez que la frecuencia se duplica.

NORMA A. E. S. — La *Audio Engineering Society*, con el fin de solucionar el conflicto que representa para los usuarios la presencia de tantas formas distintas de grabación, suministró, en 1950, una *curva de reproducción* (fig. 29), verdadera solución de compromiso, que permite obtener resultados bastante aceptables con cualquier tipo de curva de grabación utili-

zando como reproductor un fonocaptor *magnético*. La frecuencia inicial de atenuación o de-énfasis (proceso opuesto al pre-énfasis, con el fin de compensar en el receptor la alteración de la curva de respuesta a frecuencias, producida durante la grabación) es de 2500 c/s progresando a razón de 6 dB/octava para alcanzar una atenuación de 12 dB a los 10.000 c/s. Téngase en cuenta que se considera como frecuencia inicial de pre-énfasis o de-énfasis aquella en que el refuerzo o atenuación, respectivamente, se halla a 3 dB con respecto a la frecuencia de referencia de 1000 c/s.

NORMA R I A A — Después de muchas discusiones se resolvió, en 1954, emplear como norma general para la grabación, la curva recomen-

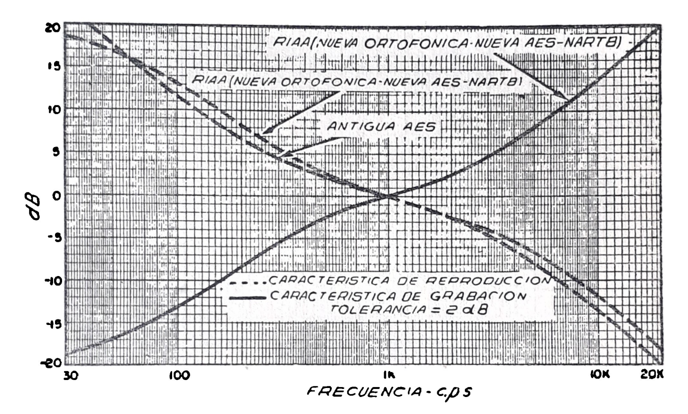


Fig. 30. — La nueva curva universal RIAA.

dada por la *Record Industry Association of America* (*R I A A*) (fig. 30) adhiriéndose a ella prácticamente todas las compañías americanas, siendo válida tanto para los discos comunes de 78 rpm como para los de larga duración. El grupo *E M I* y *Decca* (inglés) continuará utilizando sus características actuales para los discos de 78 rpm, pero han adoptado la nueva curva para los discos de larga duración. La nueva curva comienza su pre-énfasis a los 2120 c/s, permitiéndose una tolerancia de hasta 2 db, por lo que, en muchos casos, esta frecuencia inicial se extiende a los 2500 c/s.

Es interesante consignar que esta curva es prácticamente la misma utilizada por la *R C A Victor* en sus sistema de grabación *"New Orthophonic"*. La norma *R I A A* se conoce, asimismo, con las denominaciones *"New A E S"* y *"N A T R B"*

TABLA XIX

CARACTERISTICAS DE LAS DISTINTAS NORMAS DE "PRE-ENFASIS"

Frecuencia (c/s)	RIAA	RCA (antigua)	AES	Columbia L.P.	Columbia 78 rpm
	dB	dB	dB	dB	dB
1000	0	0	0	0	0
2000	2,6	2,5	— 2,2	3,0	2,7
3000	4,8	4,5	— 4,0	5,5	5,3
4000	6,6	6,5	— 5,5	7,8	7,1
5000	8,2	8,0	— 6,7	9,5	8,9
6000	9,6	9,5	— 8,0	11,0	10,2
7000	10,8	11,0	— 9,0	12,5	11,7
8000	11,9	11,5	— 10,0	13,5	12,9
9000	12,9	12,0	— 11,0	14,5	14,0
10.000	13,7	12,5	— 12,0	15,5	15,0
11.000	14,5	—	— 13,0	16,3	—
12.000	15,3	—	— 13,5	17,0	—
13.000	16,0	—	— 14,0	17,3	—
14.000	16,6	—	— 15,0	17,5	—
15.000	17,2	—	— 15,5	—	—

NOTA: *La curva de la A.E.S. no es de pre-énfasis sino de de-énfasis, puesto que no se trata de una curva de grabación sino de reproducción. Por ello las indicaciones están afectadas por el signo menos.*

Con el fin de completar las informaciones de la tabla anterior, suministramos asimismo la Tabla XX de la página siguiente, donde se suministran los niveles de atenuación de agudos, a los 10 kc/s, que deben suministrar los circuitos de de-énfasis incorporados en los preamplificadores fonográficos, de acuerdo con las distintas marcas de discos.

Hasta ahora hemos estudiado las características de grabación del extremo correspondiente a las frecuencias elevadas de audio. Sin embargo, también el extremo opuesto recibe un tratamiento especial, que es necesario tener muy en cuenta. En efecto, si bien en un principio se utilizó para la grabación el sistema de velocidad constante, el mismo adolecía del defecto de que en las frecuencias menores la amplitud de las oscilaciones resultaba muy grande, con el peligro de que se produjeran efectos de corte de las paredes de los surcos durante las crestas de tensión. Con el fin de evitar esta contingencia es que, a partir de una determinada frecuencia hacia abajo, se cambió el sistema de grabación a *velocidad constante* por el de *amplitud*

TABLA XX

VALORES DE NIVELES DE ATENUACION DE AGUDOS, A LOS 10 KC/S, SEGUN LA MARCA DEL DISCO

Marca	dB	Marca	dB
Angel	—11	Guild	—16
Artist	—16	Handel Society	—16
Audiophile	— 6	Haydn Society	—16
Bach-Guild	—16	His Master's Voice	—10,4
Banner	—16	HMV (de RCA)	—14
British 78 rpm	0 a —6	HMV 33 rpm (inglés)	—11
British Columbia	0 a —6	HMV 78 rpm (inglés)	— 6
Blue Note	—11	London ffrr	—11
Capitol	—11	Mercury	—11
Capitol-Telefunken	— 6	M. G. M.	—16
Cetra-Soria 78	0 a —6	Oceanic	—16
Cetra-Soria 33	—16	Philarmonia	—12,5
Capitol-Soria	—11	Polymusic	—16
Coliseum	—16	Montilla	—14
Columbia 78 nuevo	—16	RCA — 78 y 45 antigua	—12,5
Columbia 78 antigua	— 6	RCA New Orthophonic	—14
Columbia 33 rpm	—16	Remington	—16
Coral	—11	Tempo	—14
Cook	—11	Urania	—16
Old Concert Hall	— 6	Vanguard	—16
Concert Hall nuevo	— 6	Vox	—16
Decca americano	—11	Westminster	—16
Decca ffrr 78	— 5	Westminster (también)	—11

constante. A esta frecuencia de cambio del sistema de grabación se la denomina *frecuencia de transición* siendo los valores más comunes los siguientes:

TABLA XXI

FRECUENCIAS DE TRANSICION

Antigua RCA	500 c/s
Columbia L. P.	500 c/s
Columbia 78	400 c/s
London 78	400 c/s
London L. P.	500 c/s
AES	400 c/s
NAB	400 c/s
RIAA	500 c/s

Una curva así de grabación, reproducida con un fonocaptor magnético, dará lugar a una atenuación progresiva desde la frecuencia de transición hasta las más bajas, puesto que para mantener constante la amplitud de la oscilación de la púa de grabación, a medida que baja la frecuencia, es necesario ir reduciendo su velocidad, y ya sabemos que la respuesta del fonocaptor magnético es, justamente, proporcional a la velocidad.

En la siguiente tabla se suministran los valores de atenuación de graves producidos durante la reproducción, según la norma de grabación que se ha utilizado, empleando un fonocaptor magnético. La columna *AES* corresponde, como ya sabemos, a una *curva de reproducción*, de manera que señala, en realidad, el refuerzo que debe suministrarse en el preamplificador para compensar la atenuación debida a la grabación.

TABLA XXII

VALORES DE ATENUACION DE GRAVES, SEGUN LA NORMA DE GRABACION UTILIZADA

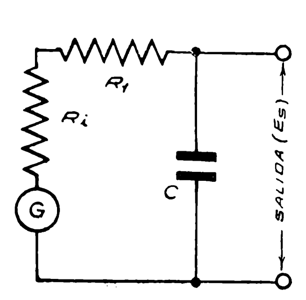
(fonocaptor magnético)

Frecuencia (c/s)	RIAA	RCA (antigua)	AES	London Columbia L.P.	Columbia 78
30	18,6 dB	—	22,5 dB	14,0 dB	—
50	17,0	24,0 dB	18,0	13,3	17,0 dB
70	15,3	20,0	15,0	12,5	14,0
100	13,1	16,5	12,0	11,0	11,3
200	8,2	9,5	6,5	8,0	6,8
300	5,5	6,0	4,5	5,5	4,3
400	3,8	3,5	3,0	4,0	3,0
500	2,7	2,5	2,0	3,0	2,1
600	1,8	1,5	1,5	2,0	1,3
700	1,2	1,0	1,0	1,5	0,8
800	0,7	0,5	0,5	1,0	0,5
1000	0	0	0	0	0

23. Sistema de compensación de la curva de grabación.

XXV) Tal como lo acabamos de estudiar, la curva de grabación moderna de discos es tal que, efectuando la reproducción por medio de un fonocaptor magnético, se tendrá un exceso de agudos y una atenuación de graves. Tal condición debe ser compensada, a fin de lograr una curva plana de respuesta a frecuencias. Tanto para una como otra finalidad, se hace uso, en el preamplificador del sistema reproductor, de filtros pasa-bajos siendo el sistema más generalizado, por su simplicidad y economía, el que comprende elementos *RC* en lugar de *LC*.

Un filtro pasa-bajos clásico, es el que se expone en la fig. 31 donde R representa la resistencia interna del generador de audiofrecuencia (generalmente una válvula, o el mismo fonocaptor) y R_1 es una resistencia serie, que se coloca para poder desentenderse de la resistencia interna en cuestión.



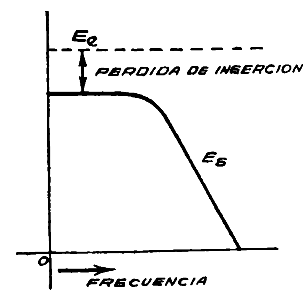


Fig. 31. — Filtro pasa-bajos y respuesta.

La atenuación en decibeles queda expresada por la siguiente fórmula:

$$dB = 20 \log_{10}\left(\frac{E_s}{E_e}\right)$$

donde E_s es la tensión de salida y E_e la tensión de entrada.

La presencia de R_1 en el circuito introduce una *pérdida de inserción* y, al mismo tiempo, fija la frecuencia en que comienza a producirse la atenuación. Para el caso de una frecuencia f_c que dé lugar a la condición $X_c = R_1$, entonces

$$\frac{E_s}{E_e} = 0{,}707,$$

cosa que puede demostrarse matemáticamente. La atenuación en dB será, entonces:

$$dB = 20 \log_{10} 0{,}707 =$$
$$= 20 \times (-1{,}85)$$

Como solamente la característica es negativa, nunca la mantisa, esta operación se desarrollará de la siguiente manera:

$$dB = 20 \times (-1) + (20 \times 0{,}85) =$$
$$= -20 + 17 =$$
$$= 3$$

A esta frecuencia f_c, que suministra una atenuación de 3 dB, se la denomina *frecuencia de transición* o *frecuencia de corte* del filtro, pudiendo determinarse su valor mediante la expresión:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R C}$$

donde f_c se obtiene en c/s, cuando R y C se dan en ohm y farad (o megohm y microfarad), respectivamente.

El producto RC de la expresión anterior recibe el nombre de *"constante de tiempo"* y se expresa en segundos. En el Apéndice se suministra una tabla con la que se puede obtener el valor del producto RC, en microsegundos en función de la frecuencia y la ganancia o pérdida en decibeles. Así, para una atenuación de 3dB a 2150 c/s (valor aproximado de comienzo de de pre-énfasis de la curva $RIAA$) el producto RC deberá ser de 75 microsegundos. Así, si la resistencia es de 157.000 ohm, esntonces C valdrá:

$$C = \frac{0{,}000075}{0{,}156} = 0{,}00048 \ \mu F$$

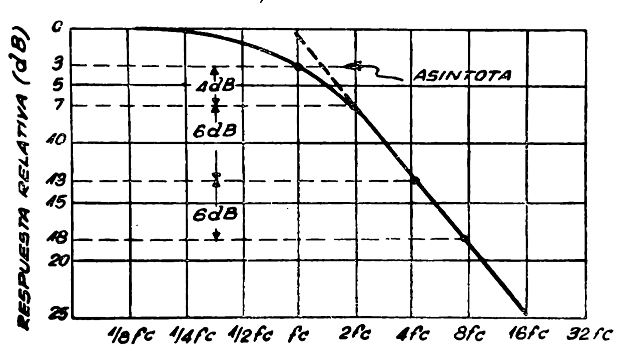


Fig. 32. — Atenuación a un régimen de 6 dB/octava.

donde T se ha tomado en segundos, R en megohm. Mas cómodo resulta colocar T en microsegundos, pero el resultado se obtendrá en picofarad; en nuestro caso 480 pF.

Obsérvese, asimismo, que para obtener 16 dB de atenuación a los 10.000 c/s, como lo exige la norma NAB,la constante de tiempo debe ser de 100 microsegundos. Para los 14 dB de la $RIAA$ se necesita una constante de tiempo de alrededor de los 75 microsegundos.

Es claro que conociendo el valor del producto RC, en microsegundos y la frecuencia de funcionamiento, podrá establecerse la atenuación producida a la misma.

La reducción de la tensión de salida, que es de 3 dB a la frecuencia de corte, se eleva a 7 dB cuando la frecuencia de funcionamiento es igual a una *octava* de aquella o sea $f = 2f_c$. A partir de este valor de frecuencia, la atenuación será de 6 dB por octava, cosa lógica, puesto que ya hemos establecido que la tensión de salida es proporcional a la reactancia del condensador, y como ésta depende de la frecuencia, según la expresión $X_c = 1 \ / \ (2 \pi f \ C)$,

es obvio que al aumentar la frecuencia al doble, la reactancia se reducirá a la mitad, valor que representa una atenuación de seis decibeles, puesto que se trata de relación de tensiones (fig. 32).

Es muy importante distinguir entre dos conceptos distintos como lo son la *atenuación* y el *regimen de atenuación*. La atenuación representa la relación entre las tensiones de entrada y salida, en decibeles, en tanto que el

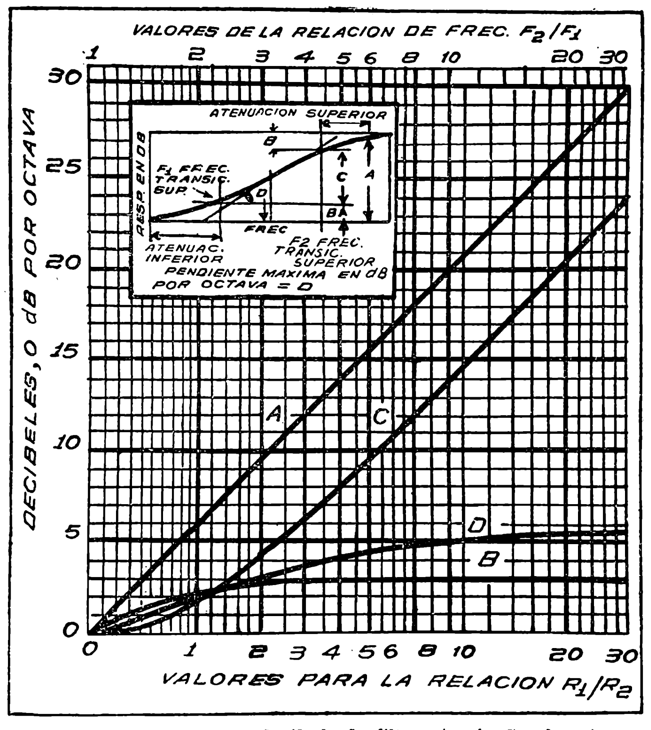


Fig. 33. — Curvas para el cálculo de filtros (según Crowhurst).

régimen de atenuación señala la atenuación en decibeles/octava. Así, en el caso, de nuestro filtro *RC* de una celda, el régimen de atenuación será, como hemos dicho, de 6 db/octava, en tanto que la atenuación propiamente dicha dependerá del punto de la curva que se considere (3 dB cuando $f = f_c$; 7 dB cuando $f = 2f_c$, etc).

La fig. 33 representa un gráfico, debido a *H. N. Crowhurst*, que permite

calcular los principales parámetros de los filtros, ya sea pasa-bajos (fig. 34) como pasa-altos. En realidad, la figura del rincón superior izquierdo representa la respuesta de un filtro de refuerzo de altos, pero bastará invertirla para sea aplicable al caso de un filtro pasa-bajos. Las frecuencias f_1 y f_2 constituyen los puntos de transición de la curva. La línea recta A suministra la relación entre las frecuencias de referencia f_1 y f_2 o la relación R_1/R_2, puesto que aquella es simplemente $(1 + R_1/R_2)$. La curva B muestra cuanto se aparta la respuesta a las frecuencias de transición del nivel más cercano

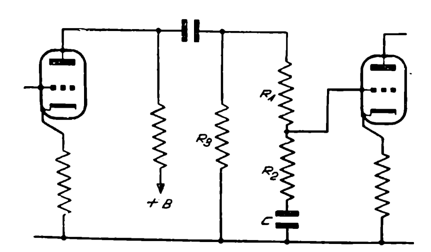


Fig. 34. — Filtros pasa-bajos en un circuito de acoplamiento.

de la curva curva de respuesta (en general 3 dB). La curva C muestra la diferencia en la respuesta entre las frecuencias de transición; la curva D suministra la pendiente máxima, en dB por octava, a la frecuencia media f_3.

24. Proyecto de filtros incluidos en una red de realimentación negativa

XXVI) En la fig. 35 se expone la configuración de un circuito de compensación de las características de grabación, que se ha incluído en una red

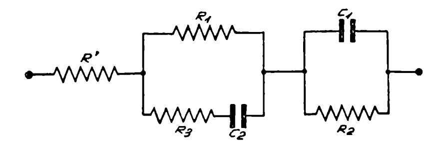


Fig. 35. — Red de compensación de graves y agudos a incluirse en un circuito de R.N.

de realimentación negativa. El refuerzo de bajos es producido por R_1 y C_1, en tanto que R_2 produce al corte de este refuerzo a una frecuencia especificada. El de-énfasis o atenuación de agudos se obtiene por medio de R_1 y C_2. El corte de la atenuación se obtiene mediante R_3.

La ganancia a cualquier frecuencia depende solamente de la realimentación negativa y, por lo tanto, del valor de la impedancia Z_f. La respuesta

relativa, en consecuencia, constituye simplemente la relación de los valores de Z_f a las distintas frecuencias (Arthur J. Rose, - Simplified Design of Feedback Preamplifiers, Radio & Televisión News, Sep. 1954). Por conveniencia toda la ganancia es referida a la ganancia donde $Z_f = R_1$.

La ganancia en bajas frecuencias puede expresarse mediante la fórmula:

$$dB = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{r^2 + 2r}{r^2 (f/f_t)^2 + 1} \right] \quad (1)$$

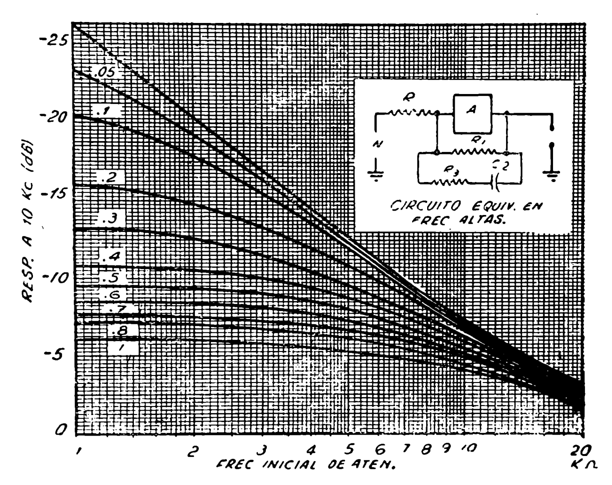


Fig. 36. — Curvas correspondientes al desarrollo de la ec.(1).

donde f_t = frecuencia de transición, f = frecuencia de referencia (1000 c/s). A su vez:

$$r = \frac{f_t}{f_c} = \frac{R_2}{R_1}$$

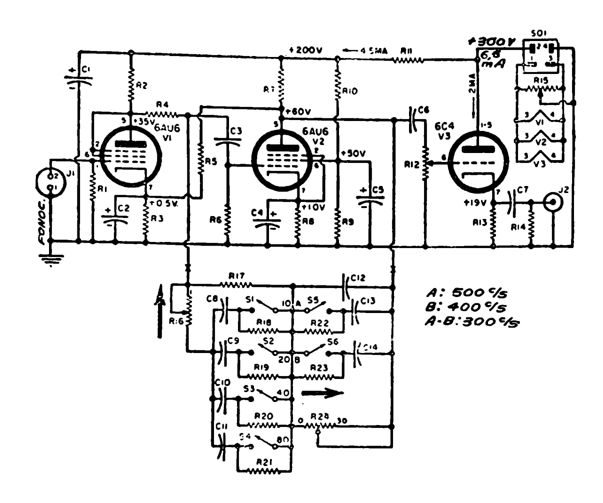
donde: f_c = frecuencia final de refuerzos de graves.

En la fig. 36 se exponen curvas correspondientes al desarrollo de la ecuación (1) para diversos valores del parámetro r. En la abscisa se ha tomado una relación f/f_t donde f_t = 500 c/s, de modo que para obtener la frecuencia habrá que multiplicar esa relación por la frecuencia real de transición (f_t). De este gráfico puede deducirse la respuesta que se obtendrá para diversos valores de R_2. El efecto de esta resistencia es reducir la pendiente inicial de la curva y, por lo tanto, nivelar a ésta por debajo de f_c. El efecto sobre la frecuencia de transición es malo.

No debe olvidarse que las frecuencias f_t y f_s (comienzo de refuerzo de graves y comienzo de atenuación de agudos) se hallan a 3 dB arriba y abajo, respectivamente, de la frecuencia de referencia f.

La ganancia en las frecuencias más elevadas puede expresarse así:

$$dB = 10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f}{f_r} \right)^2 \right]$$



TRANSCRIPCIONES.	REF. BAJOS	ATENUADOR AGUDOS	300 ∞	0
AMER 78	A	—	" " "	0
NARTB (NAB)	A	20 + 80	" " "	0
COL LP	A	20 + 80	5	0
LON LP	A	10 + 40	5	0
RCA ORTHO	A	80 0 40+20+10	10	0
RCA	—	10 + 40	30 0 ∞	0.7
AES	B	20 + 40	" " "	0
LON ffrr 78	B	10 + 20	" " "	0.4
EUR 78 (400~)	B	—	" " "	0
EUR 78 (300~)	A + B	—	" " "	0

Fig. 37. — Circuito preamplificador de A. J. Rose donde se aplican las fórmulas incluídas en el texto, para el cálculo de los componentes del filtro compensador de graves y agudos.

Aquí se tiene la sustracción de dos curvas. Una es la atenuación o de-énfasis producida por

$$10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f}{f_s}\right)^2\right]$$

y la otra es un refuerzo producido por

$$10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f}{f_r}\right)^2\right]$$

Cuando $R_3 = O$ la segunda curva desaparece y el resultado será una simple curva de de-énfasis.

La respuesta a las frecuencias elevadas puede expresarse en constante de tiempo en la siguiente forma:

$$-dB = 10 \log_{10} [1 + \omega^2 t^2] - 10 \log_{10} [1 + \omega^2 t_2^2]$$

donde:

$$t_1 = R_1 C_2; \; t_2 = R_3 C_2; \; t = t_1 + t_2; \; f_s = \frac{0{,}159}{t}$$

Cuando se requiere determinar una respuesta particular y no se conoce fc, las curvas muestran su máxima utilidad. Deberá equilibrarse la curva deseada con alguna de la fig. 36 y extraer el valor de r. En la región de las frecuencias mas elevadas el agregado de R_3 tiene el efecto de bajar la frecuencia del comienzo del de-énfasis y alterar, al mismo tiempo, la forma de la curva de respuesta.

En la fig. 37 se expone el circuito de un preamplificador calculado mediante las fórmulas recién presentadas.

CAPITULO V

EL DECIBELIMETRO

¿Qué es un decibelímetro? — La escala del instrumento — Indicaciones del decibelímetro en watt — Empleo de un voltímetro de c.a. como decibelímetro sin necesidad de marcarlo en decibeles — Corrección por resistencia de carga distinta en el circuito de medición — Tablas de conversión de decibeles a potencias — Conversión de niveles de potencia — Abaco para la conversión de niveles.

1. La escala del decibelímetro.

El decibelímetro no es más que un voltímetro de corriente alternada, al que se le ha adaptado una escala especial, con el fin de poder indicar valores en decibeles. Veamos como debe procederse para efectuar el trazado de esta escala. El primer paso consistirá en determinar en qué punto de la escala se ubicará la indicación correspondiente a 0 dB. Para ello es necesario, previamente, resolver los siguientes problemas:

1) cuál es el nivel cero de potencia que se utilizará;

2) cuál es la resistencia de carga sobre la cuál se considerará desarrollada esa potencia;

3) cuál es el valor de tensión de c.a. que se hará presente entre los extremos de la resistencia de carga elegida.

Dos son los niveles cero de potencia que actualmente se emplean en los decibelímetros; a saber:

1) 1 mW sobre una carga de 600 ohm;

2) 6 mW sobre una carga de 500 ohm.

La tendencia actual es la de emplear el primero de estos niveles, designándolo con la abreviatura "dBm", para distinguirlo de "dB", que se deja para señalar el 0 dB de los instrumentos que emplean el nivel de 6 mW/500 ohm.

En todas las consideraciones que siguen partiremos de la base de que se utiliza el nivel cero correspondiente a 1 mW/600 ohm. Para determinar cual es el valor de la tensión de c.a. que se hará presente en la carga, se aplicará la conocida fórmula:

$$E = \sqrt{P R}$$

y, en nuestro caso, reemplazando los símbolos por sus correspondientes valores numéricos:

$$E = \sqrt{0{,}001 \times 600} = 0{,}77 \text{ volt}$$

Por lo tanto, a la altura de la marcación 0,77 volt de la escala de 1 volt de de c.a., señalaremos, con tinta China, la indicación 0 dB. Para una mejor comprensión de lo que estamos desarrollando, recomendamos observar la fig. 38.

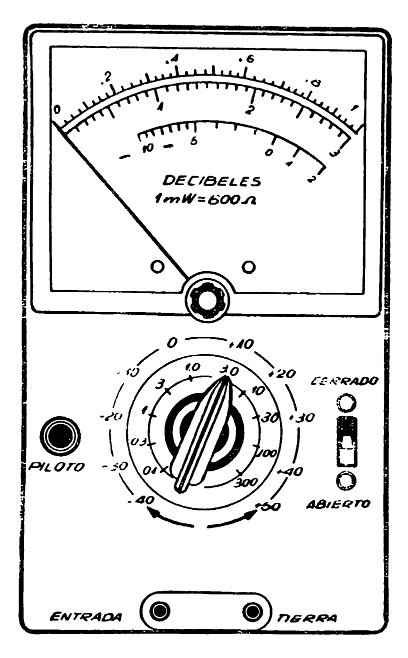


Fig. 38. — Aspecto del panel de un decibelímetro.

Los puntos de la escala correspondientes a 1 y 2 decibeles, se determinarán así:

$$E = E_0 \text{ antilog.} \left(\frac{\text{dB}}{20}\right)$$

donde:

E = tensión de corriente alternada correspondiente al punto buscado;

E_0 = tensión de c.a.correspondiente a cero decibel;
dB = cantidad de dB que se quiere señalar en la escala.

Así, para fijar el punto correspondiente a 1 dB, se procederá de la siguiente manera:

$$E = 0{,}77 \text{ antilog.} \left(\frac{1}{20}\right)$$

y desarrollando la operación indicada:

$$E = 0{,}77 \text{ antilog. } 0{,}05 = 0{,}863 \text{ V}$$

En forma mucho más sencilla podemos arribar al mismo resultado, multiplicando, para ello, el valor de tensión correspondiente a 0 dB por 1,12, puesto que por las tablas podemos ver que el aumento de 1 dB, en una relación de tensiones, significa multiplicar el valor primitivo por 1,122. Luego:

$$E = 0{,}77 \times 1{,}122 = 0{,}863 \text{ V}$$

Siguiendo este mismo procedimiento, la marca correspondiente a 2 dB corresponderá a:

$$E = 0{,}77 \times 1{,}259 = 0{,}969 \text{ V}$$

puesto que un aumento de 2 dB en una relación de tensiones implica multiplicar el valor original por 1,259.

Procediendo de la misma manera, podemos marcar valores negativos de decibeles, partiendo de las siguientes relaciones:

— 1 dB	multiplicar	el	valor	original	por	0,8913
— 2 dB	"	"	"	"	"	0,7943
— 3 dB	"	"	"	"	"	0,7079

Para cualquier otro valor de dB podrá hallarse el factor correspondiente consultando las tablas de decibeles.

Si se desea establecer el alcance máximo de la escala en decibeles, habrá que aplicar la siguiente fórmula:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{max}}{E_0}\right)$$

Siendo E_{max} el valor máximo de la escala, en volts de c. a., y E_0 la tensión correspondiente a cero decibel. Como en el caso que estamos tratando la escala máxima es de 1 volt, tendremos:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{0{,}77}\right) = 2{,}212$$

Todas estas lecturas corresponden a la posición de la llave selectora para la escala de 1 volt máximo.Para lecturas mayores tendrenos que pasar tal llave a una posición posterior. Así, en el caso del instrumento de la fig. 38, (Voltímetro a válvula de a.f. Heath Co.) podemos elegir la escala de 10 volt. Como en estas condiciones todas las lecturas de tensiones se multiplican por 10, consultando la tabla de decibeles veremos que tal cosa corresponde a un aumento de 20 dB en la lectura, de modo que tendremos que sumar tal cantidad a cualquier indicación de la aguja en la escala dé 1 volt. Obsérvese que decimos *sumar*, puesto que en tanto que los decibeles se suman, las respectivas relaciones se multiplican. Así, donde la aguja señala 0,12 volt, con el cambio de escala habrá que leer $0{,}2 \times 10 = 2$ volt, y para los decibeles puesto que 0,2 volt representan — 11,71 dB,habrá que sumar a este valor + 20 dB para tener la cantidad exacta, o sea:

$$dB = +20 - 11{,}71 = +8{,}29$$

En efecto, puesto que + 8,29 dB representan una relación de 2,6 veces, entonces:

$$2{,}6 \times 0{,}77 = 2 \text{ volt}$$

valor que es, justamente, el que hemos obtenido anteriormente para la escala de volts. Por el mismo motivo recién comentado, al pasar a la escala de 3 volt, sólo habrá que aumentar la lectura efectuada en 10 dB, puesto que una relación de tensiones de 3 equivale, justamente a 10 dB. Si se pasa a la escala de 30 volt habrá que aumentar 30 dB; en la escala de 100 volt el aumento será de 40 dB y en la escala de 300 volt la suma ascenderá a 50 dB.

Por el contrario, cuando se pasa a escalas menores de 1 volt, habrá que efectuar la siguiente compensación:

Escala	de	0,3	volt,	restar	10 dB
"	"	0,1	"	"	20 dB
"	"	0,03	"	"	30 dB
"	"	0,01	"	"	40 dB

2. Indicaciones del decibelímetro en watt.

Cuando se posee un decibelímetro, resulta sumamente práctico dotar al mismo de una escala señalada en valores sucesivos de potencia, en watt. Estas indicaciones serán válidas solamente cuando la medición se efectúa sobre una carga igual que la tomada como nivel cero (600 ohm en nuestro caso). Cuando la carga sea distinta, entonces habrá que efectuar la correspondiente corrección, en la forma como ya indicaremos más adelante.

Para efectuar las anotaciones de potencias en la escala del decibelímetro se empleará la tabla de decibeles, pero no en la columna correspondiente a relaciones de tensiones sino de potencias. Así, siempre en el caso del instrumento de la fig.38, puesto que en la escala de 1 volt máximo, sólo podemos

leer hasta 2,2 dB, que representan una relación de potencias de 1,66 veces con respecto al nivel cero de potencias (1 mW), la marcación que corresponderá será:

$$mW = 1 \times 1{,}66 = 1{,}66$$

Los puntos restantes se determinarán estableciendo la relación de potencias correspondientes a los decibeles leídos y multiplicando el resultado por 1. Como vemos, el hecho de que el nivel cero sea de 1 mW permite abreviar los cálculos puestos que los miliwatt serán exactamente la relación de potencias correspondientes a los decibeles indicados. Así, donde dice 1 dB, como este valor corresponde a una relación de potencias de 1,26, entonces los miliwatt leídos también serán 1,26. Donde dice 2 dB, como este valor corresponde a una relación de potencias de 1,58, éste será también el valor de los miliwatt.

Al pasar a la escala de 10 volt no se caiga en el error de creer que cada marcación debe ser multiplicada por 10 para los watt, como se hace para los volt, puesto que la relación de 10 es con respecto a la tensión y no a la potencia. Esta última aumenta en razón del cuadrado de la tensión, o sea que si ésta se eleva 10 veces, la potencia aumentará 100 veces. Así donde la escala de 0,1 volt señale 1 mW (0 dB) habrá que leer 100 mW.

Esto puede comprobarse de otro modo; en efecto, 1 mW corresponde a una tensión de 0,77 volt (en este caso de $R = 600$ ohm), por lo que los 100 mW han de corresponder a $0{,}77 \times 10 = 7{,}7$ volt. Tal tensión representa una potencia de:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{7{,}7 \times 7{,}7}{600} = 0{,}1 \text{ watt} = 100 \text{ mW}$$

valor que coincide, como se ve, con el establecido anteriormente.

Lo dicho también se deduce de la lectura en decibeles, puesto que éstos han aumentado en una cantidad de 20 al pasar a la escala de 10 volt, valor que representa, justamente, una relación de potencias de 100.

La lectura máxima de la escala del instrumento, cuando la selectora está en 10 volt, será, entonces:

$$P = 1{,}66 \times 100 = 166 \text{ mW}$$

en la escala de 100 volt:

$$P = 1{,}66 \times 10.000 = 16{,}6 \text{ watt}$$

puesto que una relación de tensión de 100 representa una relación de 10.000 en potencias (40 dB). En la escala de 300 volt, la relación de potencias será de 100.000 (50 dB)

$$P = 1{,}66 \times 100.000 = 166 \text{ watt}$$

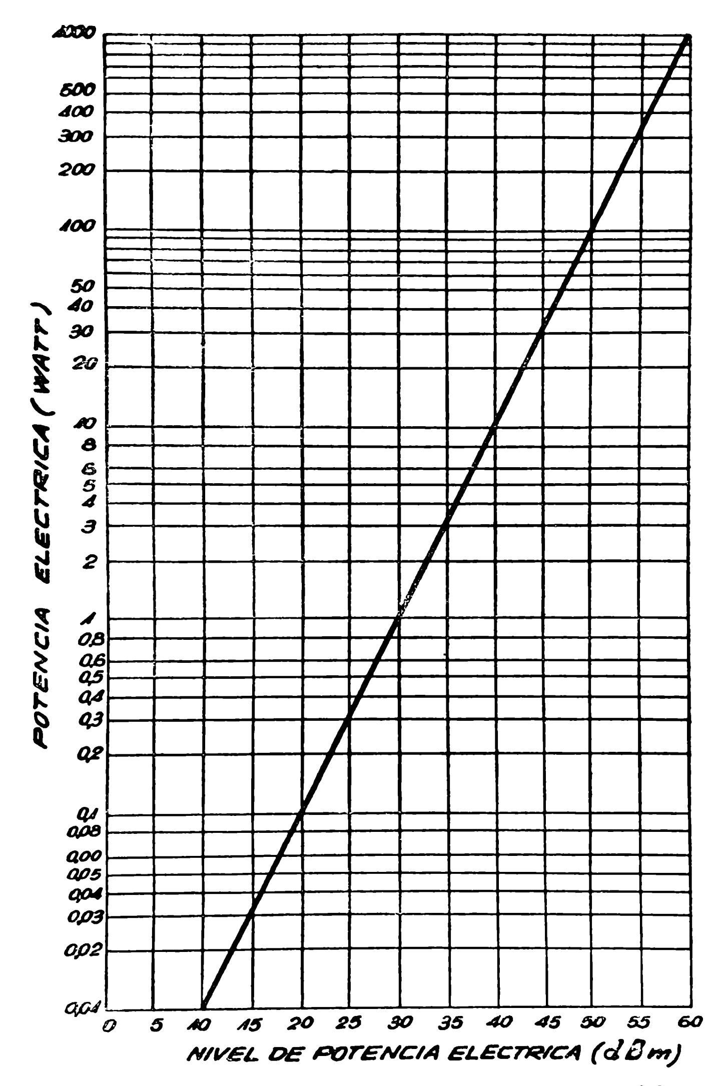


Fig. 39. — Gráfico para la conversión de potencia eléctrica (watt) a nivel de potencia eléctrica en dBm (0 dB = 1 mW) y viceversa.

que es el valor máximo que permitirá leer el instrumento, sobre una resistencia de 600 ohm.

El gráfico de la fig. 39 permite convertir rápidamente potencia eléctrica en watt, a nivel de potencia eléctrica en "dBm" (0 dB = 1 mW) y viceversa.

3. Empleo de un voltímetro de c.a. como decibelímetro sin necesidad de marcarlo en dB.

Cuando el usuario desea utilizar su voltímetro de c. a. como decibelímetro, pero sin trazar una escala especial para tales lecturas, puede resolver la situación utilizando la Tabla XXIII y un transformador adaptador de impedancias. Supongamos que desea tomar como nivel cero el de 0,006 watt/500 ohm. En este caso el secundario del transformador también tendrá que ser de 500 ohm. Luego se efectuará la medición, con las puntas de pruebas en el primario, ajustado para la impedancia del circuito a medir, y el secundario conectado a la entrada del voltímetro de c. a.

Como ejemplo supongamos que la indicación del instrumento es de 173 volt. Ello significa que la potencia desarrollada es de 60 watt (columna 4), o sea una relación de 10.000 (columna 3) con respecto al nivel cero, que en este caso es de 6 mW. Todo ello expresado en dB nos da 40 dB (col. 1). La relación de tensiones con respecto al nivel cero se obtendrá en la columna 2, que en nuestro caso es de 100.

4. Corrección por resistencia de carga del circuito del nivel cero.

Ya hemos dicho, anteriormente, que cuando se efectúan mediciones comparativas, es necesario tener en cuenta las impedancias de los circuitos. La tabla que sigue permitirá corregir la lectura efectuada con un decibelímetro preparado para 600 ohm, cuando tal lectura se efectúe sobre una impedancia de valor distinto; por ejemplo, cuando se quiere aplicar el decibelímetro sobre el primario del transformador de un parlante. Si la impedancia del primario es de 600 ohm, entonces la lectura se efectuará directamente en el instrumento, sin necesidad de corrección alguna, suministrando el valor de dB por encima del nivel cero de referencia. Se comprende que este valor en dB será tanto relación de tensiones como de potencias, puesto que en el primer caso la referencia es con respecto a 0,77 volt, y en el segundo para 1 mW.

Si la impedancia del primario del transformador no es de 600 ohm siempre en nuestro ejemplo, entonces habrá que emplear la tabla XXIV de correcciones:

TABLA XXIII

RELACIONES DE TENSIONES Y POTENCIAS, EN dB; POTENCIA EN dB PARA NIVEL CERO = 6 mW Y 1 mW

1	2	3	4	5	6
dB	Relación de tensiones	Relación de potencias	Potencia (Watt) 0dB = 6 mW sobre 500 Ω	Volt basados en 6 mW sobre 500 Ω	Potencia (Watt) 0dB = 1 mW sobre 600 Ω
— 10	0,31623	0,1000	0,0006000	0,5477	0,0001000
— 9	0,35481	0,1259	0,0007553	0,6145	0,0001259
— 8	0,39811	0,1585	0,0009509	0,6895	0,0001585
— 7	0,44668	0,1995	0,0011972	0,7737	0,0001995
— 6	0,50119	0,2512	0,0015071	0,8681	0,0002512
— 5	0,56234	0,3162	0,0018975	0,9740	0,0003162
— 4	0,63096	0,3981	0,0023886	1,0928	0,0003981
— 3	0,70795	0,5012	0,0030071	1,2262	0,0005012
— 2	0,79438	0,6310	0,0038737	1,3758	0,0006310
— 1	0,89125	0,7943	0,0047660	1,5437	0,0007943
0	1,00000	1,0000	0,0060000	1,7321	0,0010000
+ 1	1,1220	1,2589	0,0075555	1,9434	0,0012589
+ 2	1,2589	1,5849	0,0095093	2,1805	0,0015849
+ 3	1,4125	1,9953	0,0119716	2,4466	0,0019953
+ 4	1,5849	2,5119	0,0150713	2,7451	0,0025119
+ 5	1,7783	3,1623	0,0189747	3,0801	0,0031623
+ 6	1,9953	3,9811	0,0238865	3,4559	0,0039811
+ 7	2,2387	5,0119	0,030071	3,8776	0,0050119
+ 8	2,5119	6,3096	0,038737	4,3507	0,0063096
+ 9	2,8184	7,9433	0,047660	4,8816	0,0079433
+ 10	3,1623	10,0000	0,060000	5,4772	0,010000
+ 11	3,5481	12,589	0,075563	6,1455	0,012589
+ 12	3,9811	15,849	0,095093	6,8954	0,015849
+ 13	4,4668	19,953	0,119716	7,7368	0,019953
+ 14	5,0119	25,119	0,150713	8,6808	0,025119
+ 15	5,6234	31,623	0,189747	9,7400	0,031623
+ 16	6,3096	39,811	0,238865	10,9285	0,039811
+ 17	7,0795	50,119	0,30071	12,2620	0,050119
+ 18	7,9433	63,096	0,38737	13,7582	0,063096
+ 19	8,9125	79,433	0,47660	15,4369	0,079433
+ 20	10,0000	100,000	0,60000	17,3205	0,10000
+ 21	11,220	125,89	0,75535	19,434	0,12589
+ 22	12,589	158,49	0,95093	21,805	0,15849
+ 23	14,125	199,53	1,19716	24,466	0,19953
+ 24	15,849	251,19	1,50713	27,451	0,25119
+ 25	17,783	316.23	1,89747	30,801	0,31623
+ 26	19,953	398,11	2,38865	34,559	0,39811
+ 27	22,387	501,19	3,0071	38,776	0,50119
+ 28	25,119	630,96	3,8737	43,507	0,63096
+ 29	28,184	794,33	4,7660	48,816	0,79433
+ 30	31,623	1000.00	6,0000	54,772	1,0000
+ 31	35,481	1258,9	7,5535	61,455	1,2589
+ 32	39,811	1584,9	9,5093	68,954	1,5849
+ 33	44,668	1995,3	11,9716	77,368	1,9953
+ 34	50,119	2511,9	15,0713	86,808	2,5119
+ 35	56,234	3162,3	18,9747	97,400	3,1623
+ 36	63,096	3981,1	23,8865	109.285	3,9811
+ 37	70,795	5011,9	30,071	122,620	5,0119
+ 38	79,433	6309,6	38,737	137,582	6,3096
+ 39	89,125	7943,3	47,660	154,369	7,9433
+ 40	100,000	10000,0	60,000	173,205	10,0000
+ 41	112,20	12589,2	75,535	194,34	12,5392
+ 42	125,89	15848,9	95,093	218,05	15,8489
+ 43	141,25	19952,6	119,716	244,66	19,9526
+ 44	158,49	25118,9	150,713	274,51	25,1189
+ 45	177,83	31622,7	189,747	308,01	31,6227
+ 46	199,53	39810,7	238,865	345,59	39,8107
+ 47	223,87	50118,7	300,71	387,76	50,1187
+ 48	251,19	63095,7	378,37	435,07	63,0957
+ 49	281,84	79432,7	476,60	488,16	79,4327
+ 50	316,25	100000,0	600,00	547,72	100,0000

TABLA XXIV

TABLA DE CORRECCIONES PARA REDUCIR DE 600 OHM A OTRO VALOR

Para reducir de 600 Ω a . .	Sumar (dB)
500 ohm	0,791
250 "	3,800
200 "	4,77
125 "	6,81
100 "	7,78
50 "	10,79
30 "	13,01
15 "	16,02
8 "	18,75
4 "	21,76

Tal como puede apreciarse, cada vez que la impedancia baja a la mitad, se sumarán 3 dB. Para el caso de que el instrumento esté calibrado tomando como base una carga de 500 ohm, entonces se empleará esta tabla XXV de correcciones:

TABLA XXV

TABLA DE CORRECCIONES PARA REDUCIR DE 500 OHM A OTRO VALOR

Para reducir de 500 Ω a . .	Sumar (dB)
600 ohm	— 0,791
250 "	+ 3,00
200 "	+ 3,97
125 "	+ 6,00
100 "	+ 7,00
50 "	+ 10,00
30 "	+ 12,72
15 "	+ 15,27
8 "	+ 17,96
4 "	+ 20,96

La fórmula que permite calcular el factor de corrección, para cualquier caso que se presente, y que no esté incluído en las tablas anteriores, es la siguiente:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)$$

donde Z_1 es la resistencia para la cual ha sido calibrado el instrumento y Z_2 la resistencia del circuito que se va a medir.

En la fig. 40 puede estudiarse el por qué de la falsedad de las lecturas cuando el decibelímetro se aplica sobre una carga distinta de la que le corresponde por el tipo de nivel cero elegido. En el diagrama se expone un circuito de 500 ohm y otro de 15 ohm. Es evidente que la misma potencia se desarrollará en ambas resistencias de carga, pero las tensiones serán distintas, puesto que también lo son las resistencias de carga de cada circuito.

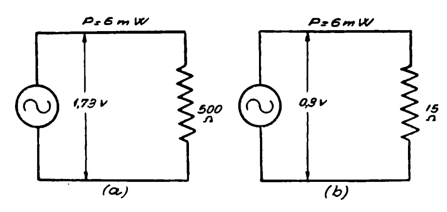


Fig. 40. — Demostración matemática del efecto que produce la aplicación del decibelímetro sobre una carga distinta de la que le corresponde por el nivel de cero elegido.

Si se utiliza un decibelímetro proyectado para una carga de 500 ohm y se aplica una tensión que desarrolle 6 mW en la carga de 500 ohm, la aguja se desviará hasta la marcación 0 dB, que corresponde a 1,73 volt:

$$E = \sqrt{P R} = \sqrt{0{,}006 \times 500} = \sqrt{3} = 1{,}73 \text{ V}.$$

En cambio, al aplicar el instrumento a la carga de 15 ohm, la aguja se desviará hasta los 0,3 volt. Esto implica una relación de tensiones de

$$\frac{1{,}73}{0{,}3} = 5{,}6$$

o sea una diferencia de 15 dB (ver las tablas), que tendrán que sumarse a la indicación o lectura efectuada, para obtener el resultado correcto.

5. Conversión de niveles de potencia.

Si las indicaciones del instrumento han sido efectuadas para un nivel determinado en mW, y queremos transformar esta indicación para arrojar valores correspondientes a un nivel distinto, habrá que aplicar la siguiente fórmula para la corrección:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

donde P_1 es el nivel cero de potencia del instrumento y P_2 es el nuevo nivel a que se desea convertir. El resultado se sumará a la lectura. Así, por ejem-

plo, si se desea transformar la lectura de una escala trazada para un nivel cero de 1 mW en otra de 6 mW, habrá que efectuar la siguiente corrección:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{6}\right) = -7{,}78$$

o, lo que es lo mismo, habrá que restar 7,78 dB a la lectura indicada por el instrumento.

Como el nivel de 1 mW se considera desarrollado sobre una resistencia de 600 ohm, en tanto que el de 6 mW lo es sobre una de 500 ohm, resulta claro que siempre habrá que efectuar las dos correcciones: de nivel de potencia y de resistencia de carga. Así, para pasar del nivel de 600 ohm a 500 ohm, habrá que sumar 0,791 dB por la conversión de impedancias y, luego, restar 7,78 dB por la conversión de potencias de 1 mW a 6 mW. En resumen, habrá que restar 6,989 dB (7 dB en cifras redondas) a la lectura señalada por el decibelímetro con escala trazada con un nivel de 1 mW/600 ohm.

Por el contrario, cuando se desea convertir la lectura de un decibelímetro preparado con un nivel de 6 mW/500 ohm al nivel de 1 mW/600 ohm, habrá que sumar a las indicaciones del instrumento, 7 dB.

La tabla XXVI nos suministra otras conversiones de niveles cero de potencia:

TABLA XXVI

CONVERSION DE NIVELES CERO DE POTENCIA

Nivel cero	1	6	12	12,5	25
1,0	—	— 7,782	— 10,792	— 10,969	— 13,979
6,0	+ 7.782	—	— 3,010	— 3,187	— 6,197
12,0	+ 10,792	+ 3,010	—	— 0,177	— 3,187
12,5	+ 10,969	+ 3,187	+ 0,177	—	— 3,010
25,0	+ 13,979	+ 6,197	+ 3,187	+ 3,010	—

Con el fin de evitar la realización de los cálculos de corrección por variación de resistencia de carga, puede emplearse el cómodo sistema que se expone en la fig. 41. Como puede apreciarse, se trata de disponer un transformador, con secundario de impedancia igual a la del nivel cero del instrumento (500 ó 600 ohm), en tanto que el primario posee diversas derivaciones.

correspondientes a los valores más comunes de impedancia de salida de los amplificadores. Este transformador puede colocarse en el interior mismo del instrumento, si así se desea, tal como se efectúa en muchos instrumentos comerciales de medición de potencia de salida.

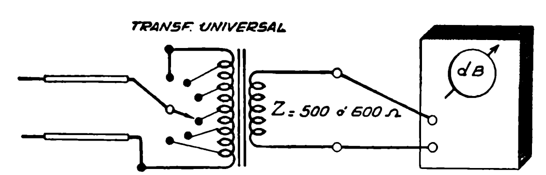


Fig. 41. — Interposición de un transformador equilibrador de impedancias, para evitar la necesidad de efectuar cálculos por corrección de impedancias entre el decibelímetro y el circuito de medición.

6. Abaco para la conversión de niveles.

El nomograma que presentamos permite expresar en decibeles, potencias dadas en watt y con referencia a los tres niveles más comunes (1; 6 y 12,5 mW). Las dos últimas escalas permiten, en combinación con las primeras, calcular la potencia en watt o en decibel, partiendo de la resistencia del circuito, en ohm, y la tensión en volt. Como la tabla suministra la potencia en miliwatt, en el caso de operar con watt deberá sumarse al resultado 30 dB.

Veamos un ejemplo de aplicación: sea una resistencia de 600 ohm, sobre la cual se miden 0,77 volt. Aplicando la regla de modo que su borde corte a las columnas de ohm y volt en los lugares indicados, veremos que la intersección con la columna de miliwatt señala 1 mW. Haciendo pasar una línea horizontal por este punto veremos que corta a la columna de 6 mW en (— 7 78) dB, en 0 dB a la columna de 1 mW y en (— 11) dB aproximadamente a la columna de 12 5 mW. Esto significa que para convertir la indicación del nivel de 0 dB = 1 mW en 0 dB = 6 mW deberá sumarse a la primera (— 7,78) dB (o lo que es lo mismo restarse 7,78 dB), en tanto que para convertir al nivel 0 dB = 12,5 mW habrá que restar 11 dB.

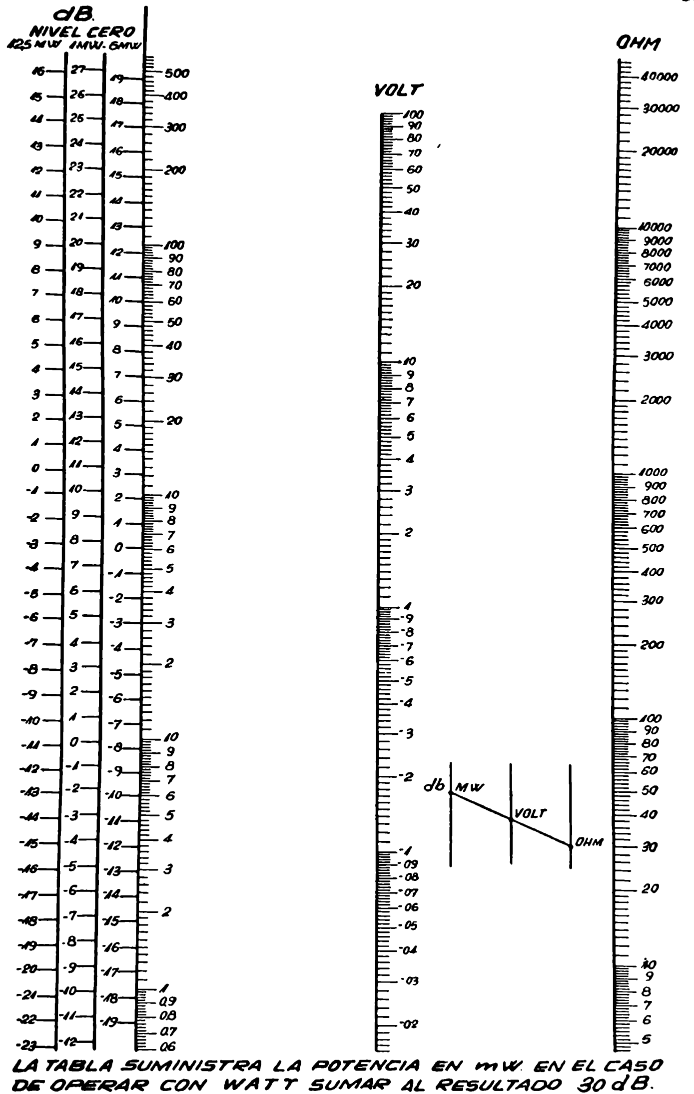


Fig. 42. — Nomograma para la expresión de decibeles de la potencia dada en miliwatt, para los tres niveles comunes (1; 6 y 12,5 mW).

CAPITULO VI

APLICACIONES PRACTICAS DEL DECIBELIMETRO

Medición de la potencia de salida de un amplificador — Medición de la ganancia de un amplificador — Ganancia combinada de un micrófono y un amplificador, expresada en decibeles — Regímenes típicos de salida de micrófonos en decibeles — Medición de la ganancia de una etapa — Medición del nivel de zumbido o ruido de un amplificador — Medición de la impedancia de salida de un amplificador — Curva de impedancia de la bobina móvil de un parlante — Medición de la respuesta a frecuencia de un amplificador — Ajuste de un ecualizador para fonocaptor a cristal — Trazado de la curva de selectividad de un receptor — Medición de las características de selectividad de los transformadores de frecuencia intermedia — Medición de la relación señal a imagen.

1. Medición de la potencia de salida de un amplificador.

Ya hemos visto que el decibelímetro no suministra valores absolutos de potencia, sino valores relativos, o sea valores que resultan de la comparación de la potencia, que se quiere medir, con referencia a un nivel prefijado. De acuerdo con esto, no resulta posible expresar la potencia de salida de un amplificador, en decibeles, si no se indica, al mismo tiempo, cuál es el nivel cero de potencia empleado. Así, por ejemplo, no podemos decir que la potencia de salida de un amplificador es de 20 dB porque ello no tiene ninguna significación, pero en cambio si decimos que la potencia de salida es de 20 dB sobre el nivel cero de 1 mW, entonces estaremos especificando que la potencia es 100 veces mayor que 1 mW, o sea: $P = 0{,}001 \times 100 = 0{,}1$ watt.

Recuérdese que, en estas mediciones, es de fundamental importancia tener en cuenta la impedancia del circuito que se va a medir. Así, en el caso de un decibelímetro con escala trazada para el nivel de 1 mW/600 ohm, las lecturas podrán efectuarse directamente, sin tomar en cuenta las impedancias, sólo en dos casos:

1) cuando la impedancia del circuito a medir es también de 600 ohm;

2) cuando se utiliza un transformador adaptador de impedancias, de modo que la carga reflejada sobre el instrumento sea siempre de 600 ohm.

Si la resistencia del circuito a medir es distinta, entonces habrá que aplicar la consiguiente corrección a la lectura, en la forma como ya hemos estudiado en el capítulo anterior.

Si la escala de decibeles posee, asimismo, marcaciones para watt no habrá necesidad de efectuar cálculo alguno para la conversión de dB a watt. puesto que en la potencia ya está tácitamente involucrada la resistencia. Para efectuar esta medición habrá que proceder a aplicar, a la entrada del amplificador, una nota de audiofrecuencia de 400 ó 1000 c/s, de buena forma de onda. Se emplea el primero de estos valores en casi todas las mediciones de carácter puramente eléctrico, puesto que a tal frecuencia la bobina móvil ofrece su mínima impedancia, siendo la misma de carácter resistivo. En cambio, la frecuencia de 1000 c/s se utilizará siempre que se efectúen mediciones acústicas, que luego deban ser referidas al nivel mínimo de audibilidad, puesto que este nivel mínimo está precisado, justamente, a la frecuencia de 1000 c/s.

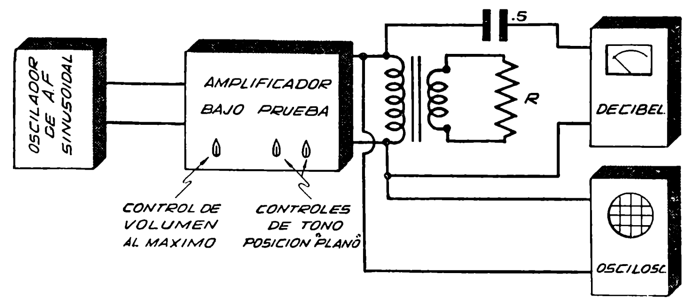


Fig. 43. — Acoplamiento del decibelímetro para la medición de la potencia de salida de un amplificador.

Una precaución más, es tener en cuenta que la señal de entrada no debe producir la sobrecarga de ninguna de las grillas de las válvulas del amplificador, cosa que debe controlarse con un osciloscopio, convenientemente colocado en el circuito de salida. El control de volumen debe estar al máximo, y los de tono en su posición de salida "plana".

El decibelímetro puede ser acoplado tanto entre los extremos del arrollamiento primario del transformador (fig. 43) de salida como en el secundario. En el primer caso, tendrá que intercalarse un capacitor en serie de elevada capacidad (0,5 μF), para bloquear la componente continua del circuito de placa de la válvula de salida del amplificador. Por su parte el instrumento tendrá que ser un voltímetro de corriente alternada de 20.000 ohm por volt, dada la elevada impedancia del arrollamiento primario, pero también puede utilizarse uno de 1000 ohm por volt sin que la diferencia sea apreciable, especialmente si se utilizan escalas elevadas para las mediciones. Cuando se desee medir la potencia de salida en el secundario, cosa que es preferible, puesto que ello nos da la potencia de salida eléctrica real, habrá que reemplazar a la bobina móvil por una resistencia igual a su valor de impedancia

y de disipación adecuada a la potencia desarrollada. Puede emplearse un voltímetro de c. a. de 1000 ohm por volt, calibrado en decibeles, sin ningún inconveniente, siempre que posea una escala suficientemente baja como para acusar la reducida tensión que se desarrolla en esa parte del circuito.

El gráfico que presentamos en la fig. 44 resulta sumamente útil cuando la escala del voltímetro de c. a. no está calibrada en decibeles, permitiendo establecer la potencia de salida y el nivel con respecto a 6 mW, partiendo

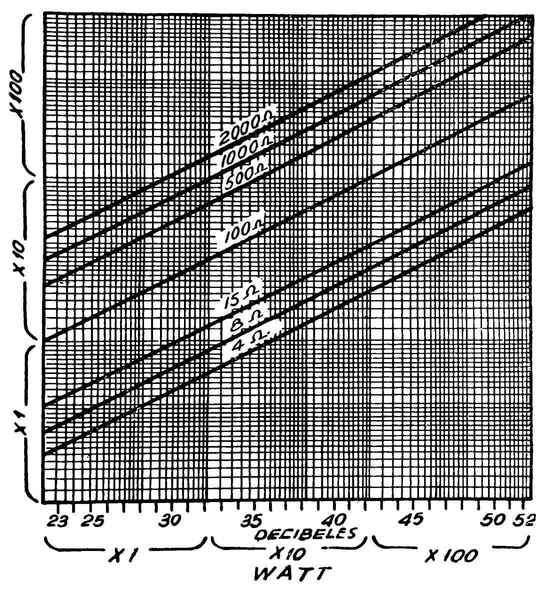


Fig. 44. — Este gráfico permite establecer la potencia de salida y el nivel con respecto a 6 mW, partiendo del conocimiento de la resistencia del circuito de salida y la tensión de c. a. desarrollada.

del simple conocimiento del valor de la resistencia del circuito de salida y de la tensión de c. a. desarrollada. Obsérvese que la abscisa está constituída por una escala logarítmica (ver Cap. VIII) de tres ciclos o décadas, figurando en ella valores sucesivos de potencia, en watt. En el primer ciclo las lecturas se multiplicarán por 1, de modo que se llega hasta 10 watt. En el segundo ciclo las lecturas se multiplican por 10, de modo que se extienden desde 10 a 100 watt y en el tercer ciclo el valor indicado se multiplicará por 100, llegándose así a los 1000 watt. Los decibeles se leen en la misma abscisa, pero sobre una escala lineal. Así, donde dice 30 dB, podrá

verse que ello corresponde a 6 watt; donde dice 35 dB, ello corresponde a 18,9 watt (o sea 1,89 × 10). La determinación de los watt, y su correspondiente nivel en decibeles, con respecto al nivel cero de 6 mW, se efectúa comenzando por medir la tensión de c. a. en el circuito de salida del amplificador. Se señala esta tensión en la ordenada, que también es logarítmica y de tres ciclos (primer ciclo: 1 a 10 volt; segundo ciclo de 10 a 100 volt y tercer ciclo de 100 a 1000 volt) y se sigue la horizontal hasta cortar a la diagonal correspondiente al valor de la impedancia del circuito medido. Desde el punto de intersección se baja una vertical hasta la abscisa, pudiendo leer, así, el valor en watt y decibel.

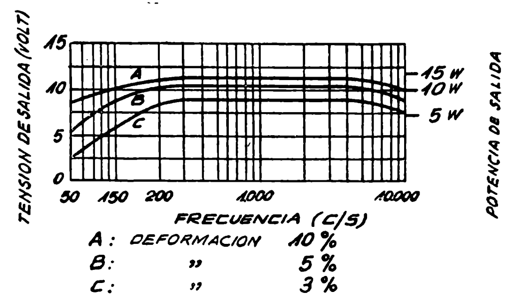


Fig. 45. — Curvas de potencia de salida, para diversos valores de deformación sobre una carga resistiva de 10 ohm.

Edgar M. Villchur hace las siguientes consideraciones, con respecto a la medición de la potencia de salida, que son sumamente interesantes: "El procedimiento descripto no revela todas las posibilidades de potencia cuando el amplificador es conectado sobre impedancias de carga más elevadas que el valor de régimen de trabajo asignado, condición que se produce, de hecho, en la mayor parte del espectro de frecuencia. Un amplificador, puede entregar, por ejemplo, 10 watt a 50 c/s, dentro de un porciento de deformación dado, cuando se le aplica una carga resistiva de 8 ohm, pero puede no ofrecer el mismo comportamiento cuando se reemplaza a la resistencia por la bobina móvil, aun cuando la misma posea igual valor nominal en ohm. No hay que olvidar que este valor es solamente a 400 c/s y que a 50 c/s puede alcanzar un valor muy elevado por efecto de la resonancia del cono, alcanzando hasta 40 ohm en ocasiones. Por otra parte, después de esta frecuencia de resoanancia la impedancia va aumentando con la frecuencia de funcionamiento. Afortunadamente, existe un factor que mitiga la situación; los altoparlantes modernos están proyectados para funcionar suministrando una salida acústica constante con una fuente de *tensión* eléctrica constante, en lugar de serlo con *potencia* eléctrica constante. De acuerdo con esto, al aumentar la impedancia a los 50 c/s, siendo la tensión constante, es obvio que se reducirá la potencia entregada por el amplificador.

El autor mencionado finaliza diciendo que cuando las mediciones de potencia se comparan con mediciones de deformación vs frecuencia, es preferible conectar el parlante después que se ha establecido la potencia a los 400 c/s. Tales lecturas de deformación no pueden ser presentadas como tomadas con una potencia dada de salida, sino con una tensión particular a través del parlante, estableciéndose el nivel de potencia como "tantos watt a 400 c/s". Estas lecturas, sin embargo, representan mucho más realmente el comportamiento del amplificador bajo condiciones de funcionamiento.

En la fig. 45 se expone una serie de curvas de potencia de salida, para diversos valores de deformación, tomadas sobre una carga resistiva de 10 ohm.

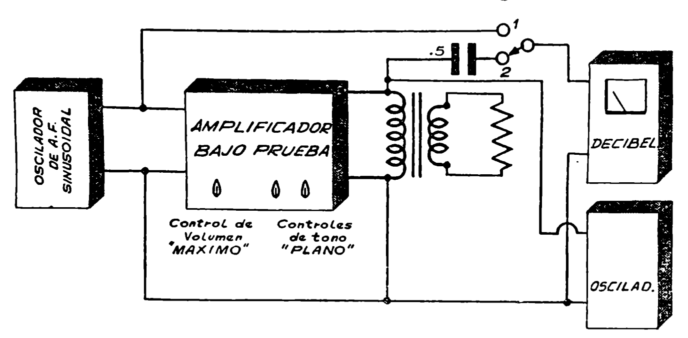


Fig. 46. — Procedimiento para medir la ganancia de un amplificador, en decibeles.

De su estudio puede deducirse que la máxima potencia utilizable es 11 watt (al 5% deformación) lo que representa un nivel de (+ 32,6) dB con respecto a 0 dB = 6 mW.

2. Medición de la ganancia de un amplificador.

Igual como en la medición anterior, se aplicará una señal de audiofrecuencia a la entrada del amplificador, controlando la sobrecarga mediante el osciloscopio dispuesto sobre la resistencia de carga del circuito de salida. Si bien, y en general, se emplea una frecuencia media para las pruebas, es conveniente efectuar estas últimas con diversos valores, puesto que la ganancia suele variar fundamentalmente según la zona de funcionamiento elegida. Cuando se suministra el valor de la ganancia de un amplificador, también deberá indicarse, por lo tanto, la frecuencia tomada para la medición.

La ganancia del amplificador será la diferencia, en dB, de las lecturas obtenidas con el decibelímetro en el circuito de entrada y de salida (fig. 46). Así, por ejemplo, si a la entrada el instrumento señala (— 85,8) dB y a la salida (+ 36,2) dB, la ganacia será igual a:

$$A = 36{,}2 - (-85{,}8) = 122 \text{ dB}$$

Este valor representará la ganancia del amplificador únicamente en el caso de que las resistencias de los circuitos de entrada y de salida sean exactamente iguales. Si no es así habrá que hacer intervenir a las resistencias. Existen dos formas para efectuar la corrección:

1) corregir cada uno de los circuitos (entrada y salida) con referencia a la resistencia del nivel cero de potencia del decibelímetro;

2) corregir la resistencia del circuito de salida con referencia al circuito de entrada.

Como no estamos buscando valores absolutos de potencia sino relativos (potencia de salida con referencia a la potencia de entrada), el segundo método resulta el más sencillo, puesto que nos ahorramos una operación. Un ejemplo nos aclarará mejor lo que acabamos de exponer: sea un amplificador en cuyo circuito de entrada se desarrolla una tensión de 1 volt. A su vez, en el circuito de salida, cuya resistencia es de 7000 ohm, se desarrolla una tensión de 300 volt. Se desea establecer la ganancia de potencia de este amplificador, cuando la entrada es de 7000 ohm y cuando es de 1 Megohm.

Ganancia cuando las resistencias de entrada y salida son iguales. — Será simplemente la diferencia entre las lecturas, en decibeles, tomadas a la entrada y la salida. Suponiendo que estamos empleando un decibelímetro cuyo nivel cero de potencia es 0 dB = 6 mW/500 Ω, entonces es claro que colocando el instrumento en el circuito de entrada, puesto que aquí se desarrolla 1 volt, la aguja indicará:

$$dB = 20 \log \left(\frac{1}{1{,}73} \right) = -4{,}711 \text{ dB}$$

Hemos tomado el valor de 1,73 puesto que es la tensión correspondiente al nivel cero de potencia de 6 mW/500 Ω.

En el circuito de salida, procediendo de la misma manera, la salida en dB indicada será:

$$dB = 20 \log \left(\frac{300}{1{,}73} \right) = +44{,}711 \text{ dB}$$

Por lo tanto, la ganancia neta del amplificador será:

$$+44{,}711 - (-4{,}711) = +49{,}422 \text{ dB}$$

Si queremos establecer esta diferencia en forma más rápida y directa, podemos ajustar el oscilador de audio hasta que la aguja se desplace a 0 dB cuando se mide a la entrada del amplificador. A continuación, midiendo en el circuito de salida, la indicación será directamente 49,422 dB. Téngase en cuenta que los valores (— 4,711) dB y (+ 44,711) dB no representan la potencia en los circuitos de entrada y salida, respectivamente, con respecto a 6 mW, puesto que para serlo debe efectuarse la corrección previa por diferencia de resistencias con al decibelímetro.

Ganancia cuando las resistencias son distintas. — Si queremos expresar la lectura obtenida, en decibeles, de modo que represente la ganancia real de potencia, entonces habrá que efectuar las correcciones anteriormente indicadas. Con fines didácticos aplicaremos, sucesivamente, los dos procedimientos señalados:

1) Corrección de las dos lecturas con referencia a la resistencia del nivel cero de potencia (= 500 ohm, en nuestro caso):

a) *A la entrada*:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{500}{1.000.000}\right) =$$

$$= -33 \text{ dB}$$

b) *A la salida*:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{500}{700}\right) =$$

$$= 11{,}46 \text{ dB}$$

De acuerdo con esto, y sumando los niveles de corrección. tendremos:

a) *A la entrada*: $-4{,}711 + (-33) = -37{,}711$ dB

b) *A la salida* : $+44{,}711 - 11{,}46 = 33{,}251$ dB.

Y la diferencia:

$$+33{,}251 - (-37{,}711) = +70{,}962 \text{ dB}$$

que representa la ganancia de potencia del amplificador.

2) Corrección de la lectura a la salida, con referencia a la entrada, o sea 7000 ohm con respecto a 1.000.000:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{7.000}{1.000.000}\right) =$$

$$= -21{,}55 \text{ dB.}$$

Este resultado habrá que sumarlo al de la ganancia indicada por el instrumento:

$$49{,}711 - (-21{,}55) = 70{,}962 \text{ dB}$$

que es un valor igual al obtenido con el método anterior, pero en forma mucho más rápida. Claro está que el método más largo tiene la ventaja de permitir establecer los valores absolutos de potencia a la entrada (— 37,711 dB) y la salida (11,46 dB) con referencia al nivel de 6 mW del instrumento.

3. Ganancia combinada de un micrófono y un amplificador expresada en decibeles

Los casos que pueden presentarse son los siguientes:

A) Cuando un micrófono, con su régimen de salida expresado en función de la tensión, se conecta a un amplificador de tensión, que está indicado en decibeles de ganancia de tensión (dBvg), *la salida puede ser calculada así:*

Salida en dBV = régimen del micrófono en dBV + factor de acoplamiento + ganancia del amplificador en dBvg.

$$\textit{Factor de acoplamiento} = 20 \log_{10} \left(\frac{R_1}{R + R_1} \right)$$

Valores típicos de factor de acoplamiento son los siguientes:

$\frac{R}{(R + R_1)} =$	0,5	0,56	0,63	0,71	0,79	0,89	
Factor de acopl. =	— 6	— 5	— 4	— 3	— 2	— 1	dB

Ejemplo: Micrófono (— 54) dBV; Amplificador (+ 80) dBvg;

$$\frac{R_1}{(R + R_1)} = 0{,}5$$

$$\text{salida} = (-\,54) - (6 + 80) = +\,20 \text{ dBV} = 10 \text{ V}$$

Esta salida se aplica para el régimen de presión sonora considerado, por ejemplo 1 dina/cm². A otras presiones sonoras la tensión será proporcional a la presión sonora.

B) Cuando un micrófono, clasificado de acuerdo al régimen de salida de la R. M. A. se conecta a un amplificador que posee su ganancia expresada en términos de potencia, de acuerdo con la norma R. M. A.

La salida del amplificador, en dBm, es igual a la suma del régimen de salida del micrófono según el sistema *R. M. A.*, de la ganancia de potencia del amplificador en decibeles, y de la presión del sonido, en dB.

Ejemplo: un micrófono de cinta, con un régimen *R. M. A.* (G_m) de (— 153) dB que opera con una presión de sonido de 10 dina/cm² (o sea + 94 dB) y conectado a un amplificador con una ganancia de potencia de 40 dB, suministrará un nivel de salida de (— 153) + 40 + 94 = — 19 dBm.

C) Cuando un micrófono, con su régimen indicado en función de nivel de salida se conecta a un amplificador que tiene señalada su ganancia en función de la potencia, de acuerdo con la norma R. M. A.

La ganancia de potencia del amplificador se mide con una entrada de tensión constante, en serie con una resistencia igual a la impedancia de la fuente de alimentación del amplificador. Bajo estas condiciones, no es necesario aplicar factor de corrección alguno, y la salida del amplificador en dBm es igual a la suma del nivel efectivo de salida del micrófono, en dBm, y la ganancia de potencia del amplificador en decibeles. Este nivel de salida sólo se obtendrá cuando la presión en el micrófono es igual al régimen de presión indicado; es decir, 10 dina/cm².

Ejemplo: un micrófono de cinta posee un nivel de salida efectivo de (— 59) dBm, con una presión acústica de 10 dina/cm². Si este micrófono se conecta a un amplificador con una ganancia de potencia de 40 dB, el nivel de salida será de (— 59) + 40 = — 19 dBm, con una presión acústica de 10 dina/cm².

TABLA XXVII

REGIMENES TIPICOS DE SALIDA DE MICROFONOS (dB)

Tipo	0 dB = 1 V 1 dina/cm²	0 dB = 1 V 10 dina/cm²	0 dB = 1 V Z = 40.000 Ω 1 dina/cm²	0 dB = 1 mW 1 dina/cm²
Carbón (S. B.) .	— 50 dBV	— 30 (nota)	— 23 dBV	— 39 dBm
Condensador . . .	— 50 a — 60	— 30 a — 40	— 50 a — 60	—
Cristal (celda) . .	— 54 a — 76	— 34 a — 56	— 54 a — 76	—
Cristal (diafr.) . .	— 46 a — 65	— 26 a — 45	— 46 a — 65	—
Bobina móvil. . .	—	—	— 49 a — 70	— 65 a — 86
Cinta (presión) .	—	—	— 61 a — 65	— 77 a — 81
Cinta (velocid.).	—	—	— 58 a — 67	— 74 a — 85

NOTA: *Medido a través del micrófono (resistencia aproximada 100 ohm).*

REGIMENES TIPICOS DE SALIDA DE MICROFONOS (dB)

Tipo	0 dB = 1 mW 10 dina/cm²	0 dB = 6 mW 1 dina/cm²	0 dB = 6 mW 10 dina/cm²	0 dB = 1 mW 0,0002 dina/cm²
Carbón (S. B.) .	— 19 dBm	— 47 dB	— 27 dB	— 113 dB
Bobina móvil . . .	— 45 a — 66	— 73 a — 94	— 53 a — 74	— 139 a — 160
Cinta (presión) .	— 57 a — 61	— 85 a — 89	— 65 a — 69	— 151 a — 155
Cinta (velocid.) .	— 54 a — 63	— 82 a — 91	— 62 a — 71	— 148 a — 157

4. Medición de la ganancia de una etapa.

Para determinar la ganancia de una etapa sola, se procederá a aplicar la tensión de audiofrecuencia suministrada por el oscilador, a la entrada de grilla de la etapa bajo prueba, luego se procederá en la misma forma como

se muestra en la fig. 46, pero tomando la medición de salida sobre la carga de placa de la válvula. La ganancia de la estapa será, simplemente, la *diferencia* de las dos lecturas en decibeles, si las resistencias de entrada y salida son iguales. No importa que estas resistencias no sean iguales a la resistencia del nivel cero del intrumento, puesto que el error será el mismo a la entrada y a la salida.

Un método mucho más rápido consiste en ajustar la salida del oscilador de audio, hasta llevar la aguja del decibelímetro a 0 dB. Luego, midiendo en el circuito de salida la indicación será exactamente la ganancia de la etapa en decibeles.

Si las resistencias de entrada y de salida de la etapa son diferentes, habrá que proceder a efectuar la *corrección* matemática, tal como ya lo hemos visto.

En algunos textos, figura el valor de la ganancia de la etapa en "dBvg", o sea que se establece la diferencia entre las dos lecturas en decibeles, sin tomar en cuenta para nada las resistencias, significando solamente la "*ganancia de tensión*" de la etapa. Así, si a la entrada tenemos un nivel de (+ 2) dB y a la salida (+ 10) dB, ello significa que la ganancia de tensión es de 8 dB o sea una relación de 2,5119. Esto se expresa diciendo que la ganancia es de 8 dBvg. El dB, simplemente, solo puede aplicarse, como ya lo hemos dicho repetidas veces, a *ganancia de potencia* exclusivamente, pudiendo indicar ganancia de tensión solo cuando las resistencias sobre las cuales se efectúa la medición son iguales. En una palabra, las expresiones "dB" y "dBvg" son iguales cuando las resistencias de entrada y salida también lo son; si no es así, habrá que efectuar la corrección matemática y los "dB" serán iguales a "dBvg + dB de corrección". Cuando no se expresa otra cosa, la ganancia de una etapa en dB es siempre la ganancia de potencia. Insistimos tanto en este punto debido a que suele consistir en la parte más difícil de interpretar por el estudiante, llevando a gruesos errores en la aplicación práctica.

Para todas estas mediciones el decibelímetro deberá ser un voltímetro a válvula de c.a. calibrado en decibeles, puesto que las resistencias de entrada y salida de la etapa son, en general, muy elevadas.

Cuando existen transformadores de acoplamiento, estos deberán intervenir en el circuito bajo medición. Por ejemplo, en el caso en que se utilicen transformadores de entrada y de salida en una etapa simple, se aplicará la señal al primario del transformador de entrada y se conectará el instrumento al secundario del transformador de salida.

5. Medición del nivel de zumbido o ruido de un amplificador.

Para esta determinación del nivel de zumbido en el circuito de salida de un amplificador se cortocircuitará su circuito de entrada y luego, se medirá el nivel de potencia de la señal de salida con el decibelímetro. Toda ten-

sión alterna de salida, que no sea debida a realimentación positiva deberá atribuirse a zumbidos y componentes de ruidos. El decibelímetro no podrá evaluar éstos separadamente, debiendo emplearse, para ello, un analizador de ondas.

La indicación del instrumento, corregida si su impedancia es distinta de la del circuito de salida del amplificador, representa el nivel del zumbido-ruido, con relación al nivel de cero potencia del instrumento. Así, por ejemplo, si éste es igual a 1 mW entonces una lectura de (— 20) dB significa que la potencia del zumbido está a 100 veces por debajo del nivel de 1 mW, o sea:

$$\frac{0{,}001}{100} = 0{,}00001 \text{ W} = 10^{-5} \text{ W}.$$

Los fabricantes de equipos sonoros acostumbran a especificar el nivel de zumbido como un número de decibeles por debajo de la potencia de salida del amplificador. Así, por ejemplo, en el caso de un amplificador de 10 watt de salida, como esta potencia representa (+ 40) dB sobre el nivel de 1 mW, entonces el nivel de zumbido anteriormente determinado estará, lógicamente, a 60 dB por debajo de la potencia de salida.

6. Medición de la impedancia de salida de un amplificador.

Un método sencillo para efectuar esta determinación consiste en disponer un voltímetro a válvula entre los terminales de salida del amplificador en

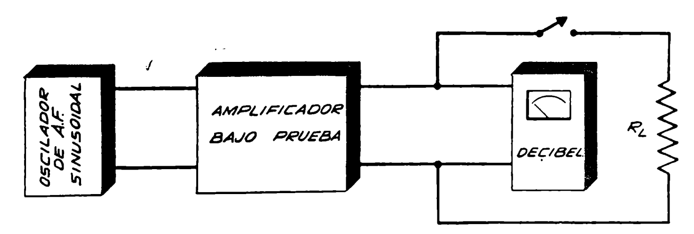


Fig. 47.—Procedimiento para la medición de la impedancia de salida de un amplificador.

cuestión y medir la tensión desarrollada con y sin una carga resistiva conocida (fig. 47), o sea E_L y E_G respectivamente. Luego se aplica la siguiente expresión:

$$\frac{E_G}{E_L} = 1 + \left(\frac{R_G}{R_L}\right)$$

de donde puede despejarse fácilmente el valor de la impedancia de salida R_G, puesto que todos los otros términos de la ecuación se conocen.

El gráfico de la fig. 48 facilita el cálculo, pues basta con desarrollar la siguiente expresión:

$$\text{diferencia en dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{E_G}{E_L}\right)$$

y, luego, buscar en la abscisa la relación R_L/R_G que corresponde. Esto nos dice que si al colocar una resistencia de 100 ohm la tensión bajó a la mitad entonces la diferencia en decibeles será:

$$\text{dB} = 20 \log_{10} 2 = 20 \times 0{,}3 = 6$$

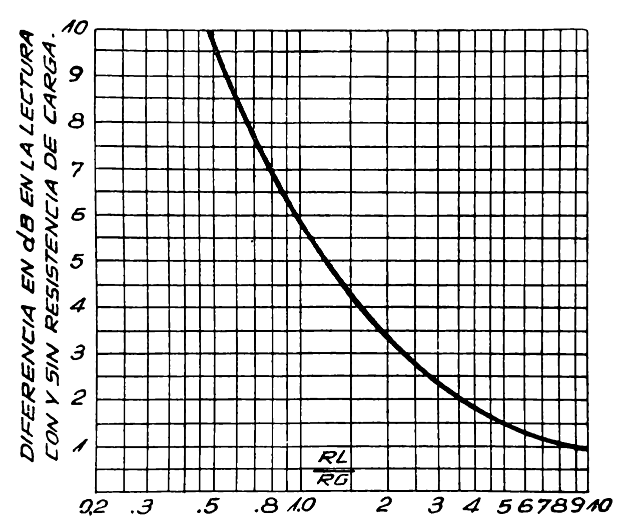


Fig. 48. — Este gráfico facilita los cálculos que deben efectuarse para determinar la impedancia de salida de un amplificador.

y la relación R_L/R_G igual a 1, o sea que la impedancia del amplificador tendrá el mismo valor que la resistencia colocada en paralelo (100 ohm en nuestro caso).

Con un decibelímetro puede efectuarse la comprobación, recién comentada, con mayor celeridad, puesto que todo se reduce a leer la diferencia en dB entre las dos lecturas (con y sin carga), y luego consultar el gráfico. También puede optarse por disponer como carga una resistencia variable, la que luego se ajustará hasta que el decibelímetro señale una caída

de 6 dB en la lectura. Entonces la resistencia intercalada será igual a la impedancia de salida del amplificador, puesto que los 6 dB de caída implican una reducción de la tensión a la mitad.

Cuando la impedancia de salida del amplificador es muy reducida, al tensión medida, o el nivel indicado por el decibelímetro, no varía mayormente entre las condiciones con y sin resistencia de carga. Es el caso, por ejemplo, de amplificadores con válvulas triodos a la salida o elevadas dosis de realimentación negativa de tensión.

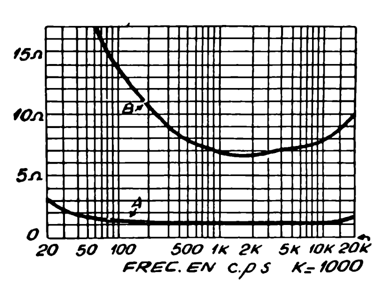


Fig. 49. — A) curva correspondiente a un amplificador de muy elevada calidad; B) curva de un amplificador económico.

Las mediciones de la impedancia de salida del amplificador deberán tomarse a diversas frecuencias, hasta cubrir todo el rango de audiofrecuencias. En la figura 49 se exponen dos curvas típicas. La curva *A* corresponde a un amplificador de muy elevada calidad, en tanto que la *B* es la expresión típica de un equipo económico.

7. Medición de la impedancia de la bobina móvil de un parlante.

Para realizar esta medición se dispondrá las partes tal como se expone en la fig. 50. El oscilador de audiofrecuencia suministrará una señal de 400 c/s, la que será acusada por el voltímetro de c.a. a válvula, dispuesto

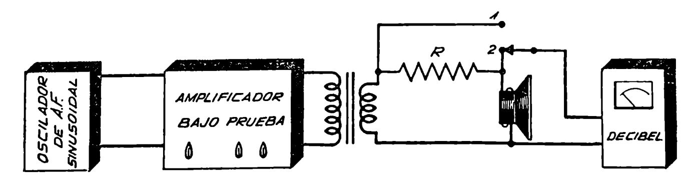


Fig. 50. — Medición de la impedancia de la bobina móvil de un parlante.

entre los extremos de la bobina móvil. La intercalación de la resistencia *R* es necesaria, con el fin de permitir acusar mejor las variaciones de tensión que producirán las variaciones de la impedancia de la bobina móvil, al recorrer con el dial del oscilador el rango de frecuencias de audio. Ya hemos visto, anteriormente, que si la resistencia de carga varía, la tensión se mantendrá aproximadamente constante en el caso de un amplificador de muy baja impedancia de salida. En cambio, colocando la resistencia *R* (de aproxima-

damente 20 veces el valor de la impedancia calculada para la bobina móvil), la distribución de tensión de salida se hará presente en mayor grado sobre la bobina móvil cuando aumente su impedancia, ya que la resistencia R y la bobina móvil constituyen un divisor de tensiones en el que R es constante y la reactancia de la bobina móvil variable con la frecuencia, así como con las condiciones de trabajo.

Para el proceso de medición, se ajustará la salida del oscilador hasta lograr que la aguja del decibelímetro señale 0 dB a la frecuencia de 400 c/s. Luego se irán aplicando distintas frecuencias de entrada, manteniendo siempre constante la tensión y se irá estableciendo la diferencia en decibeles indicada por el instrumento. Estas indicaciones se llevarán a un gráfico, tal como se expone en la fig. 51. En esta aparecen varias curvas superpuestas, correspondientes a un mismo altoparlante excitado por diversos tipos de amplificadores.

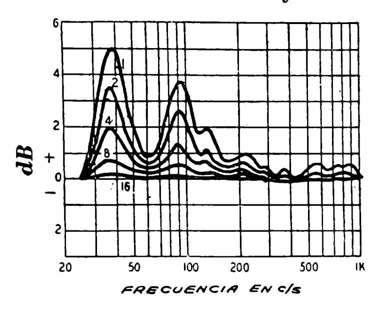


Fig. 51. — Curvas de impedancia de la bobina móvil de un parlante.

La salida del oscilador de audiofrecuencia, como lo hemos dicho, es constante y el amplificador se supone que es de respuesta plana a todas las frecuencias involucradas en la medición. Si no es así, habrá que proceder a ajustar, para cada medición, la tensión de salida en el secundario del transformador de salida, puesto que de otro modo las lecturas no tendrían significación alguna. Se puede utilizar el mismo instrumento, con una llave de paso que permita controlar las dos mediciones sucesivamente. Como puede apreciarse se trata de una medida comparativa y no de valores absolutos puesto que expresa cuántos decibeles aumenta la tensión en la bobina móvil con respecto a la tensión a 400 c/s, que se ha fijado como 0 dB.

8. Medición de la respuesta a frecuencias de un amplificador.

Para el suministro de las señales de prueba se puede recurrir ya sea a un oscilador de audiofrecuencia, ya a un disco de frecuencias. Considerando el primer caso, puesto que los generadores de a.f. comunes no mantienen constante su tensión de salida a las diversas frecuencias de funcionamiento, resulta necesario colocar a la salida del equipo generador, un voltímetro a válvula (o por lo menos uno a rectificador de por lo menos 20.000 ohm por volt) que permita determinar el valor de la tensión de a.f. suministrada al amplificador que se va a medir. En esa forma se podrá mantener siempre constante el valor de tensión, mediante el correspondiente ajuste del atenuador del oscilador de a.f..Dado que la respuesta a frecuencia debe ser determinada a diversos niveles de volumen del amplificador, es necesario

reemplazar a la bobina móvil del parlante por medio de una resistencia (Reg.) de igual valor en ohm que la impedancia a 400 c/s. El régimen de disipación de esta resistencia deberá ser, por lo menos, igual al doble de la disipación calculada con el volumen llevado al máximo. (fig. 52)

Como indicador para el nivel de salida, se dispondrá de un decibelímetro. Si la medición se efectúa en el primario del transformador de salida habrá que intercalar, en uno de los conductores de prueba un capacitor de 0,5 μF de muy buena aislación, con el fin de bloquear la componente continua de la corriente de placa.

El papel gráfico será del tipo lineal en la ordenada, donde se anotarán los decibeles, y logarítmico en la abscisa, donde se anotarán las frecuencias (ver el capítulo VIII).

Con respecto al nivel "0 decibel" en la ordenada, debe tenerse en cuenta que el mismo es completamente arbitrario, pudiendo optarse por la salida a una frecuencia de 3500 c/s, que es donde el oído acusa el máximo de sensibilidad; también puede optarse por la salida obtenida a la frecuencia de 400 c/s, normalizada para las mediciones en receptores y amplificadores, debido a que a esa frecuencia la bobina móvil del altoparlante ofrece su menor impedancia, siendo prácticamente resistiva. Otras frecuencias son las de 800 c/s, debido a que la mayor parte de la energía puesta en juego por la voz se concentra entre los 800 y los 1000 c/s.

Cualquiera que sea la frecuencia elegida para establecer el nivel cero decibel, habrá que llevar el dial del oscilador de audio hasta la marcación correspondiente y, después, avanzar suavemente el control de salida o atenuador (estando el control de volumen del amplificador al máximo y los controles de tono en posición "plana") hasta que la aguja se desplace a la indicación "0 dB". En ningún caso esta tensión del oscilador de audio debe ser tan elevada como para producir la sobrecarga de alguna grilla del amplificador; cosa que debe controlarse con un osciloscopio colocado a la salida del equipo.

En ocasiones no es posible obtener la anterior condición si se pretende llevar la tensión de salida del oscilador de audio a 0 dB del instrumento. En estos casos se procederá a emplear una tensión menor que la correspondiente a 0 dB, suficiente como para que no sobrecargue alguna grilla. Se observará a cuántos decibeles corresponde esta tensión y se mantendrá este valor en la memoria.

A veces puede suceder que se ha ajustado la tensión de salida del oscilador de a.f. como para no producir sobrecarga alguna a la frecuencia tomada como comparación, pero tal condición adversa puede producirse a otra frecuencia distinta. En estos casos lo más práctico es dar una "pasada" de extremo a extremo con el dial del oscilador de audio y observar a que frecuencia la salida es mayor. Luego se ajustará la tensión del oscilador de a.f. de modo que no exista peligro de sobrecarga en ese punto. Una vez que se ha elegido el valor de la tensión de salida del oscilador de a.f. se llevará el dial

a la frecuencia elegida como comparación y se leerá en el decibelímetro los decibeles señalados, como ya hemos dicho antes, para servir de relación con las próximas lecturas efectuadas a la salida.

Se pasa, ahora, el oscilador a otra frecuencia, cuidando de mantener constante la tensión de entrada al amplificador y se leen los decibeles indicados por el decibelímetro. Este valor no se marcará en el gráfico, sino la la diferencia entre el valor para la frecuencia de comparación y la nueva frecuencia aplicada. Así, si el instrumento antes señalaba 3 dB y ahora 8 dB entonces se señalará simplemente 8 — 3 = 5 dB por arriba del nivel cero.

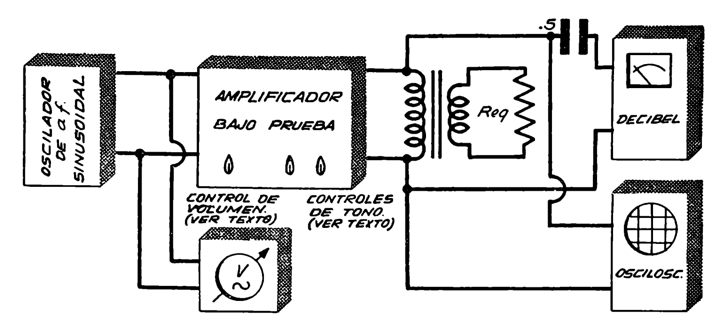


Fig. 52. — Medición de la respuesta a frecuencias de un amplificador.

El mismo proceso se efectuará con todas las otras frecuencias de la banda de audio que deseamos registrar.

En todas estas mediciones no interesa de ninguna manera el nivel cero del instrumento, puesto que las mediciones para el trabajo de la curva de respuesta a frecuencias son *relativas*, o sea que simplemente nos interesa determinar cuántos decibeles aumenta o baja la salida. Desde luego que la diferencia en decibeles registrada no representa de ningún modo la ganancia del amplificador a la frecuencia en cuestión puesto que para ello tendríamos que hacer intervenir la corrección por diferencia de impedancia en los circuitos de entrada y salida.

En ocasiones resulta recomendable efectuar la verificación de la respuesta a frecuencias a diversos niveles de señal de entrada al amplificador, puesto que la característica suele cambiar. Asimismo, pese a que siempre se colocan los controles de tono en la posición de salida "plana", también puede obtenerse la característica de salida para diversas posiciones de esos controles. Las curvas de las figuras 53 y 54 son sumamente aclaratorias, en este sentido, puesto que la primera de ellas representa la respuesta de un amplificador, con el control de bajos en posición tal que produce el máximo de absorción de agudos. En la segunda figura puede verse el efecto de un sis-

tema superior de control de tono, agudos y graves independientes, mostrando los efectos con máximo refuerzo y atenuación. Tal como puede apreciarse, el cero decibel se considera en la banda media de 500 a 1000 c/s.

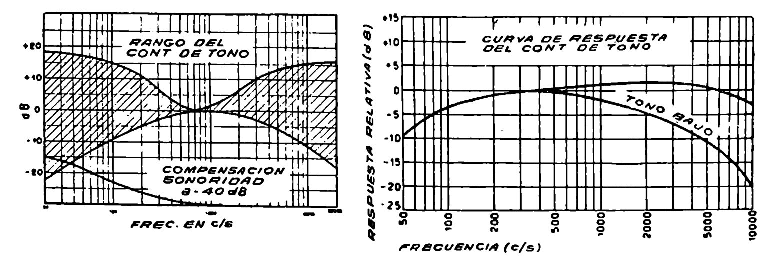


Fig. 53. — Respuesta de un amplificador con el control de tono en posición de máxima atenuación de agudos.

Fig. 54. — Curva de respuesta de controles de tono independientes, pudiendo verse las posiciones de máximo refuerzo y atenuación en cada extremo de la banda.

9. Ajuste de un ecualizador para fonocaptor a cristal.

En la fig. 55 se expone uno de los muchos circuitos de compensación de las características de grabación, en el caso de un fonocaptor a cristal

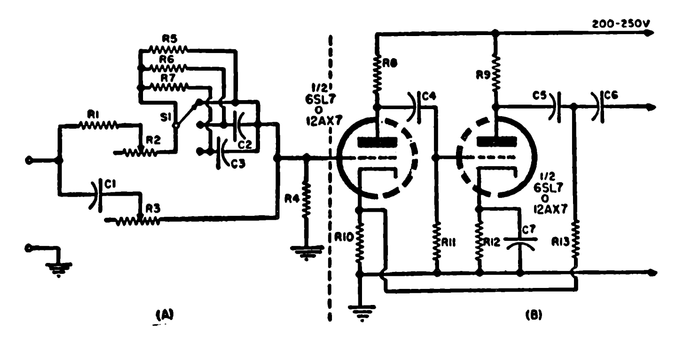


Fig. 55. — Circuito de compensación de las características de grabación, en el caso de un fonocaptor a cristal.

(también aplicable a uno de cerámica o capacitivo). El ajuste de los potenciómetros puede efectuarse con un simple óhmetro, de acuerdo con la tabla XXVIII.

TABLA XXVIII

PARA EL AJUSTE DE ECUALIZADORES

Control de frecuencia de transición baja		Control de refuerzo (pre-énfasis) de agudos	
R1 + R2 (MΩ)	**Frecuencia (c/s)**	**R3 (Ω)**	**Corrección 1000 c/s (Ω)**
0,8	1000	0	— 1,5 dB
1,0	800	120.000	— 4,0
1,6	500	200.000	— 8,0
2,0	400	300.000	— 12,0
2,7	300	500.000	— 16
		800.000	— 20,0

También puede utilizarse el siguiente procedimiento, mucho más perfecto: llévese el control de frecuencias altas a la posición de máximo refuerzo de agudos y la llave de pre-enfasis de graves en la posición (1), salida plana. Ajústese el oscilador de audiofrecuencia en 1000 c/s y llévese el atenuador hasta una posición que permita obtener una lectura cómoda con el decibelímetro. A continuación, redúzcase la frecuencia del oscilador a 100 c/s y váyase girando el potenciometro R_2. Cuando la lectura sea de —2 dB con respecto a los 1000 c/s se marcará 800 en el dial del potenciómetro. Para una atenuación de 6 dB se marcará 500 c/s (NAB—LP); para (— 8) dB se marcará 400 c/s (AES) y para —10 dB se señalará 300 c/s.

El potenciómetro R_3 de ajuste de de-énfasis de agudos se marcará con el mismo procedimiento, pero tomando los valores de refuerzo que se obtienen a los 10 Kc/s con respecto a los 1000 c/s. Así, si la salida es igual a 10 Kc/s, que en los 1000 c/s (refuerzo 0 dB), en el dial del potenciómetro se marcará (—20) dB. Si el refuerzo es de (+ 4) dB, habrá que marcar (—16) dB. Las restantes marcaciones serán las siguientes:

TABLA XXIX

CONVERSION DE LA LECTURA EN DECIBEL

Lectura	Marcar
+ 8 dB	— 12 dB
+ 12	— 8
+ 16	— 4
+ 18	— 2

10. Trazado de la curva de selectividad de un receptor.

Para obtener esta curva, se aplicará el oscilador de r.f. a la entrada del receptor y el decibelímetro en el circuito de salida, ajustándose el atenuador

del generador como para suministrar, a la salida, una *potencia normal de prueba* (fig. 56). El valor de esta potencia normal de prueba es de acuerdo con las Normas IRE (1938), de 50 mW para equipos que poseen una potencia de salida, sin deformación, entre 0,1 y 1 watt. Para receptores capaces de suministrar como mínimo 1 watt, la potencia normal de prueba será de 500 mW. Si se mide la salida con un decibelímetro dotado de un transformador equilibrador de impedancias, entonces se tendrán 50 mW cuando la aguja señale 10 dB (nivel 0 dB = 1 mW/600 ohm). Cuando no se utilice el

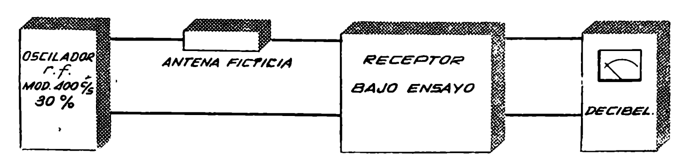


Fig. 56. — Disposición del instrumental para el trazado de la curva de selectividad de un receptor.

transformador, entonces habrá que aplicar la siguiente fórmula, para determinar los decibeles que debe indicar la aguja cuando la potencia es de 50 mW

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{\sqrt{0,05\, Z}}{0,77} \right)$$

donde Z es la impedancia del circuito de salida del receptor. Así, en el caso de que Z sea igual a 7000 ohm, entonces

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{\sqrt{0,05 \times 7000}}{0,77} \right) = 2$$

Para el caso de una potencia de 500 mW se cambiará 0,05, en el numerador, por 0,5.

Una vez preparado el instrumental en esta forma, se aplicará una señal de 1000 Kc/s, modulada con una nota de 400 c/s con una profundidad del 30% (normas IRE). Obtenida la potencia normal de prueba elegida, se procederá a desintonizar el oscilador 10 Kc/s cada lado, o hasta que la relación de la tensión de entrada respecto a la de resonancia exceda de 10.000 ó que la tensión de entrada exceda de 1 volt. De estos criterios se eligirá aquel que requiera la menor desviación con respecto a la frecuencia de resonancia. Si el receptor posee c.a.s. habrá que anularlo mientras se efectúan las pruebas.

Una vez efectuada la desintonía, se observará qué valor de tensión de radiofrecuencia es necesario aplicar con el oscilador para volver a tener la potencia normal de prueba. La relación entre la tensión de entrada fuera de resonancia a la tensión de entrada en resonancia, se llevará a la ordenada

de un gráfico, pudiendo expresarse en decibeles. Evidentemente, si tenemos un decibelímetro a la salida, la lectura se hará directamente, sin necesidad de cálculo alguno.

Los resultados de la prueba pueden expresarse en *selectancia* o en *ancho de banda*. Para lo primero se traza un gráfico con las frecuencias de resonancia como abscisa y los valores correspondientes de selectancia como ordenada. Sabido es que la selectancia representa la relación entre ordenadas que difieren en un número entero de canales respecto a aquella correspondiente

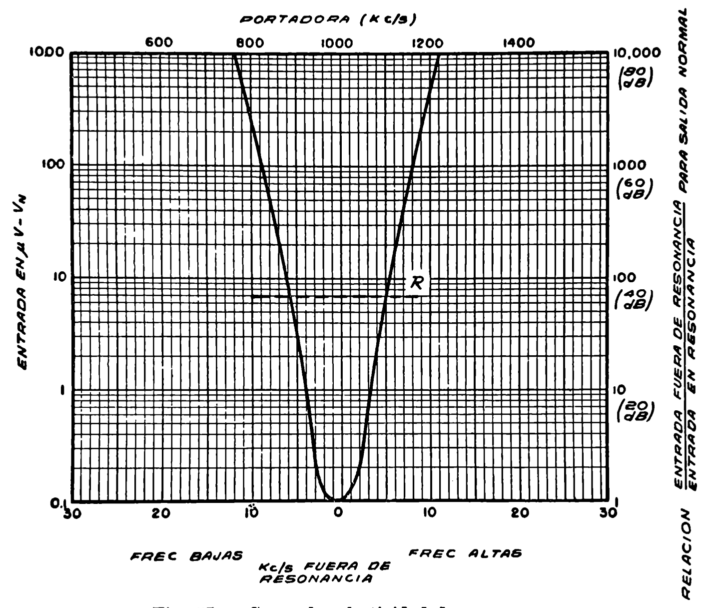


Fig. 57. — Curva de selectividad de un receptor.

a la señal de resonancia.. El ancho de banda de un canal de radiodifusión es de 10 Kc/s. La selectancia se expresa en decibeles o en relación de tensiones. La relación para canales de frecuencias n superior a la de resonancia se expresa por $S + n$ y la de los canales de frecuencia n inferior a la de resonancia se expresa por $S - n$. La media geométrica de estas relaciones se expresa por $S.n$. El valor de $S + n$ expresado en decibeles representa el valor medio geométrico de $S + n$ y $S - n$. Los términos "atenuación del canal adyacente" y "atenuación del segundo canal" se emplean para indicar S_1 y S_2, respectivamente.

Para expresar la selectividad en ancho de banda, se traza un gráfico con las frecuencias de resonancia como abscisa y los anchos de bandas como ordenadas. Puede trazarse un gráfico para cada uno de los siguientes niveles 3 dB (relación 1,4), 6 dB (relación 2,0), 20 dB (relación 10), etc.

En la fig. 57 podemos ver que a 5 Kc/s fuera de resonancia la selectividad es de 36,9 dB y de 72 dB a 10 Kc/s fuera de resonancia. Como norma se acepta que la selectividad del receptor debe ser de por lo menos 40 dB a 20 Kc/s y 6 dB a 8 Kc/s fuera de resonancia.

11. Medición de la característica de selectividad de los transformadores de frecuencia intermedia.

Una vez que los transformadores de frecuencia intermedia de un receptor superheterodino han sido correctamente ajustados a su frecuencia de resonancia, puede procederse a medir sus características de selectividad. Para ello se dispondrá un medidor de potencia de salida en el circuito de salida, en tanto que en el circuito de grilla de la válvula amplificadora de f. i. se acoplará un oscilador de r.f. ajustándose el atenuador hasta obtener la "potencia normal de prueba".

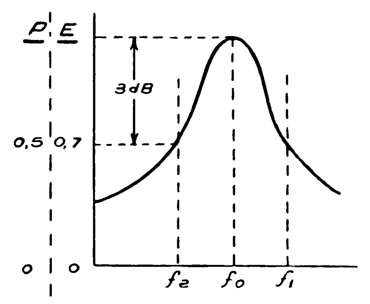


Fig. 58. — Determinación de las frecuencias límites, donde la potencia de salida baja a la mitad.

A continuación se va girando el dial del oscilador a un lado de la frecuencia de resonancia, hasta que la potencia medida baje a la mitad; se anota la frecuencia en que sucede esto y, luego, se efectúa la misma operación hacia el otro lado de la f.i.. La selectividad del circuito se obtendrá mediante la sencilla operación siguiente (fig. 58)

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

donde (f_0) es la frecuencia de resonancia (465 kc/s por ejemplo) y ($f_2 - f_1$) son las dos frecuencias límites donde la potencia de salida baja a la mitad.

En lugar de tomar como valor de desintonía la mitad de la potencia, puede tomarse una tensión igual a la de resonancia dividida por 1,41, puesto que al bajar la potencia a la mitad, la tensión se reduce en 1,41 (raíz cuadrada de 2), debido a que la potencia es proporcional al cuadrado de la tensión. Claro está que es lo mismo dividir la tensión a la frecuencia de resonancia por 1,41 que multiplicar la misma por 0,707, puesto que esta última cantidad es la inversa de la primera. En una palabra, se lleva la desintonía hasta

el 70 % del valor máximo de tensión, a cada lado de la frecuencia de reso-nancia. Si a la salida se ha dispuesto un decibelímetro, entonces todo el proceso se limitará a observar que la aguja descienda 3 dB con respecto a la indicación suministrada a la frecuencia de resonancia, puesto que una reducción de 3 dB representa dividir la potencia por 2 ó llevar la tensión a 0,70 del valor anterior, o lo que es lo mismo, al 70 %.

12. Medición de la relación señal-imagen.

Sabido es que en un receptor superheterodino la señal exterior se mezcla con la señal local, con el fin de obtener, como resultado, una frecuencia resultante, igual a la diferencia entre estas dos frecuencias, denominada señal de frecuencias intermedia. Así, por ejemplo, en un receptor superheterodino dotado de transformadores de frecuencia intermedia ajustados a 175 Kc/s, cuando se sintoniza una señal exterior de 1000Kc/s, el oscilador local genera, por su parte, una señal de 1175 Kc/s, que al mezclarse con la señal exterior, nos dará como resultante una señal de 1175—1000=175 Kc/s. Esto es lo que se desea, en verdad, pero lamentablemente se producen otras cosas que resultan incovenientes para el normal funcionamiento. En efecto, si a la antena llega al mismo tiempo una señal de 1350 kc/s, es evidente que también ella se mezclará con la señal local, para suministrar una resultante de 175 Kc/s (1350 — 1175 kc), que pasará al canal de frecuencia intermedia sin posibilidad alguna de separación de la señal deseada. A tal señal interferente se la conoce como *señal de frecuencia imagen.*

Lo deseable por parte de un receptor, por lo tanto, es que la respuesta del mismo a la frecuencia imagen sea muy reducida en comparación con la presentada a la señal deseada. Para determinar esta característica se procede de la siguiente manera

1°) se ajusta la salida del oscilador de r.f. de pruebas hasta obtener, en el medidor de salida, la potencia normal de prueba a la frecuencia de la señal deseada, con el receptor sintonizado a la misma.

2°) sin mover para nada los controles del receptor, se suministra, a continuación, una señal igual a la frecuencia imagen. El valor de ésta es igual al de la señal deseada más el doble del valor de la f.i.

3°) se ajusta el atenuador del generador de señales hasta volver a obtener la misma potencia normal de salida que antes.

4°) la relación "imagen-señal" se obtiene dividiendo la tensión del oscilador durante el paso (*3*) por la tensión suministrada durante el paso (*1*), expresando luego el resultado en decibeles.

CAPITULO VII

INSTRUMENTOS QUE EMPLEAN ESCALAS CON DECIBELES

VU-metros — El decibel y el VU — Unidades de volumen — Atenuadores para VU-metros — El decibel y la unidad "S" — Medidores de intensidad de portadora de radiofrecuencia — Código S — Medidores de por-ciento de modulación — Medidores de potencia de salida — Medidores de nivel de intensidad de sonido — El decibel y el phon — Unidades de sonoridad — Las curvas isofónicas de Fletcher y Munson — Ley de Weber — Sonidos simultáneos — Efectos de los ruidos sobre la audición — Enmascaramiento — Escala convencional de las sensaciones acústicas — Medición de intesidad sonora de sonidos complejos — El analizador de espectros de ruidos.

I) EL DECIBEL Y EL VU — UNIDADES DE VOLUMEN — VU-METROS

1. Problemas en la medición de ondas no periódicas.

Cuando se opera con corrientes alternas, sinusoidales o no, simples o complejas, pero *periódicas*, todos los problemas se reducen a emplear los instrumentos que corresponden para medir los tres valores clásicos de las corrientes alternas: el valor medio, el valor eficaz o r.m.s. y el valor de cresta, existiendo instrumentos adecuados para cada uno de estos casos. Otra cosa es cuando se opera con corrientes alternas *no periódicas*, puesto que esta aperiodicidad da lugar a resultados falsos si es que se pretende emplear los mismos instrumentos que para el caso de ondas periódicas. *H. A. Chinn* ha expuesto claramente esta situación, presentando un ejemplo típico: el sistema de comunicación empleado en las redes de radiofonía (broadcasting). Estas redes son, en general, sumamente complicadas, cubriendo zonas muy amplias de trabajo que, en algunos casos, incluyen alrededor de 50.000 Km de linea y centenares de amplificadores, situados tanto a lo largo de la línea como en las estaciones conectadas. Cada 15 minutos, las distintas partes que forman esta vasta red pueden ser conectadas o desconectadas en múltiples combinaciones, de acuerdo con las necesidades del momento (origen del programa radiado, agregado de nuevas estaciones, separación de otras, etc). Cualquiera que sea la combinación elegida, debe tenerse presente que la amplitud de las ondas de programa transmitidas, en cualquier momento y parte de la red, permanezcan dentro de los límites de régimen de trabajo del sistema, sin peligro de sobrecarga o ruidos. Para poder conseguir ésto, es necesario disponer de algún medio conveniente que permita establecer con precisión la

amplitud de las ondas del programa. Dadas las características rápidamente cambiantes de las ondas de programa, los tres valores clásicos de las corrientes alternas periódicas no pueden ser utilizados en este caso. De esta necesidad de tener un método práctico de medición de la amplitud en este tipo de circuito es que nació la *Unidad de volumen*, abreviada *VU* (del inglés: *Volume Unit*).

2. La unidad de volumen.

Por acuerdo realizado entre las compañías *Bell Telephone Laboratories*, *Columbia Broadcasting System* y *National Broadcasting Company*, generalizado después a toda la industria electrónica (mayo 1939), se convino en tomar como unidad de volumen (VU), aquella que desarrolla una potencia de *1 mW sobre una resistencia de 600 ohm*. En una palabra, se trata del mismo nivel que anteriormente hemos denominado *dBm*. De acuerdo con esto se deduce que la escala del VU-metro está calibrada en forma similar a un decibelímetro que posea el nivel 0 dB = 1 mW/600 ohm; resumiendo

$$1 \text{ VU} = 1 \text{ dBm}$$

De acuerdo con todo lo dicho el *decibelímetro* se utiliza para efectuar mediciones en aquellos circuitos de sonido donde existen condiciones de régimen *permanente*. Por su parte, el *VU-metro* es aplicable a los circuitos donde el material de programa está constituído por ondas complejas que *varian* tanto en amplitud como en frecuencia.

3. El VU-metro.

Puesto que la escala es prácticamente la misma, es claro que la diferencia entre los dos instrumentos ha de radicar en su mecanismo. En efecto, la principal diferencia entre el decibelímetro (medidor de nivel de *potencia*) y el VU-metro (medidor de nivel de *volumen*) radica en el amortiguamiento del sistema móvil. El sistema de amortiguamiento de los medidores comunes no permiten que estos puedan ser empleados para controlar ondas rápidamente cambiantes, debido a que la aguja tiende a sobrepasar la marca, dando lugar a falsas indicaciones.

Además del sistema de amortiguamiento, el VU-metro emplea un rectificador de onda completa, cosa esencial, puesto que mediciones tales como las correspondientes a la voz humana no pueden ser efectuadas si se emplea un rectificador de media onda, ya que tales tipos de ondas se caracterizan por crestas de amplitud mayor en un sentido que en otro. Si se pretende emplear un rectificador de media onda, entonces habría que tomar la precaución de marcar la polaridad del instrumento y del circuito. Mas aún, si se emplea un micrófono bidireccional en el circuito y el mismo se invierte 180 grados, también se invertirán los picos de amplitud, pudiendo producir

sobrecargas del circuito debido a falsas indicaciones del instrumento (H.M. Tremaine, Power Levels and Volume Indicator Instruments).

Las características que se han normalizado actualmente para los VU-metros son las siguientes:

Indicación. — Mucho se ha discutido acerca de si el medidor de nivel de volumen debe señalar valores eficaces o valores de cresta. Este último sistema ha sido ampliamente utilizado en Europa, empleándose asimismo en América como medidor de modulación. El primer método, en cambio, es el que se utiliza casi exclusivamente en este continente tanto en telefonía como en radiofonía. Tal como dicen *Chinn, Gannett y Morris*, en realidad ambos instrumentos son esencialmente similares, siendo la diferencia más bien de grados. En efecto, el movimiento de un instrumento proyectado para suministrar indicaciones de valores eficaces es más bien lento, necesitando décimas de segundo para alcanzar su desviación total en la escala. En el caso de una señal de muy baja frecuencia (uno o dos ciclos) la indicación de cresta podrá ser realizada con relativa facilidad, pero cuando la frecuencia aumenta apreciablemente (como es el caso de las ondas de programa), no habrá posibilidad de que tales picos sean señalados, produciéndose una indicación que es la resultante de integrar sílabas o palabras. Por su parte los instrumentos destinados a indicar valores de cresta poseen un movimiento mucho más rápido pero, de cualquier manera, tampoco podrán señalar los picos de ondas mayores de 50 a 100 c/s.

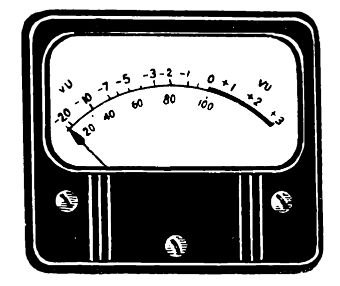
Escala del instrumento. — Dos son los usos principales de los VU-metros: a) como ayuda para hacer corresponder el amplio rango dinámico original del programa con el del medio de transmisión utilizado y b) para colocar la parte superior del rango dinámico dentro del punto de sobrecarga del equipo durante su funcionamiento normal. Para la primera de estas aplicaciones se utilizará una escala que posea un amplio alcance en decibeles, en tanto que para la segunda aplicación puede ser suficiente una escala que llegue a los 10 dB. Como solución de compromiso se ha normalizado la escala de 20 dB.

Además de las indicaciones en VU que acabamos de comentar, la carátula de los indicadores de nivel de volumen, incluye también una escala de "porciento de tensión", que va de 0 a 100. La inclusión de tal escala tiene sus razones, que a continuación comentaremos. Es claro que la escala de tensión resulta directamente proporcional al porcentaje de modulación de los radioemisores o sistemas de grabación, sobre los cuales el programa es impreso. En estas condiciones, si se ajusta el sistema de modo tal que señale la modulación completa cuando la aguja se desplace a la marcación 100 %, entonces las divisiones intermedias señalarán valores menores del grado de modulación que en ese momento se está imprimiendo. Prácticamente puede considerarse que la escala de "porciento de tensión" viene a indicar el "porciento de utilización del canal" (The Measurement of Audio Volumen, H. A.

Chinn). En la escala, la parte que sobrepasa la indicación 100 está señalada en rojo, con el fin de prevenir al operador.

Según que se desee hacer resaltar más la escala de indicaciones en VU o la escala de porciento de tensión, se entregan los VU-metros con dos tipos distintos de escalas (fig. 59) llamando a la primera de ellas escala "A" y, a la segunda, escala "B".

Características Dinámicas. — Las características de amortiguamiento son exactamente iguales en ambos tipos de instrumentos, caracterizándose por el hecho de que si se aplica súbitamente una tensión de frecuencia de la voz



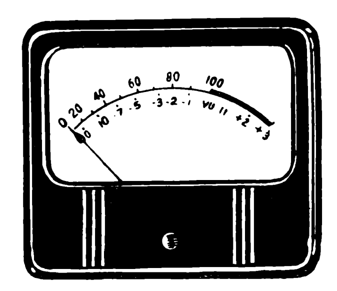


Fig. 59. — Vista exterior de VU-metros tipo A y B.

de amplitud tal como para suministrar una lectura de 100 en la escala de tensión, la aguja deberá llegar al 99 de esta escala en 0,3 segundos y sólo pasar del 100 entre 1 y 1,5 % (0,15 dB).

En general, los instrumentos vienen proyectados para tres velocidades, llevando las siguientes indicaciones en la carátula

"*HS*" (high-speed): alta velocidad

"*GP*" (general purpose): trabajos generales

"*SS*" (slow-speed): baja velocidad

Este último tipo se emplea, principalmente, para mediciones acústicas.

Respuesta a frecuencias. — La sensibilidad del instrumento no deberá bajar más de 0,2 dB entre 35 y 10.000 c/s con respecto a la que posee a los 1000 c/s ni más de 0,5 dB entre 25 y 16.000 c/s.

Sensibilidad. — Se establece que la aplicación de un potencial sinusoidal de 1,226 volt (4 dB por arriba del nivel cero), en serie con una resistencia exterior de 3600 ohm, debe producir una desviación plena hasta cero VU (ó 100 %).

TABLA XXX

ATENUADORES PARA VU-METROS

Pérdidas del atenuador (dB)	Nivel VU	Brazo A (Ω)	Brazo B (Ω)	Pérdidas del atenuador (dB)	Nivel VU	Brazo A (Ω)	Brazo B (Ω)
0	+ 4	0	Abierto	24	+ 28	3.437	494,1
1	+ 5	224,3	33.801	25	+ 29	3.485	440,0
2	+ 6	447,1	16.788	26	+ 30	3.528	391,9
3	+ 7	666,9	11.070	27	+ 31	3.566	349,1
4	+ 8	882,5	8.177	28	+ 32	3.601	311,0
5	+ 9	1.093	6.415	29	+ 33	3.633	277,1
6	+ 10	1.296	5.221	30	+ 34	3.661	246,9
7	+ 11	1.492	4.352	31	+ 35	3.686	220,0
8	+ 12	1.679	3.690	32	+ 36	3.708	196,1
9	+ 13	1.857	3.166	33	+ 37	3.729	174,7
10	+ 14	2.026	2.741	34	+ 38	3.747	155,7
11	+ 15	2.185	2.388	35	+ 39	3.764	138,7
12	+ 16	2.334	2.091	36	+ 40	3.778	123,7
13	+ 17	2.473	1.838	37	+ 41	3.791	110,2
14	+ 18	2.603	1.621	38	+ 42	3.803	98,21
15	+ 19	2.722	1.432	39	+ 43	3.813	87,53
16	+ 20	2.833	1.268	40	+ 44	3.823	78,01
17	+ 21	2.935	1.124	41	+ 45	3.831	69,52
18	+ 22	3.028	997,8	42	+ 46	3.839	61,96
19	+ 23	3.113	886,3	43	+ 47	3.845	55,22
20	+ 24	3.191	787,8	44	+ 48	3.851	49,21
21	+ 25	3.262	700,8	45	+ 49	3.857	43,86
22	+ 26	3.326	623,5	46	+ 50	3.861	39,09
23	+ 27	3.384	555,0	—	—	—	—

Impedancia. — Las normas de construcción de estos instrumentos establecen una impedancia total de 7500 ohm cuando se mide con una tensión sinusoidal suficiente para desviar el instrumento a la indicación de cero VU.

En la fig. 60 se expone el circuito completo de un VU-metro, donde puede apreciarse el instrumento de c. c. de 0 — 50 μA. La rectificación se efectúa por medio de un rectificador de óxido de cobre de onda completa.

La impedancia conjunta de estos dos elementos es de 3900 ohm. Obsérvese, asimismo, que entre el instrumento y la resistencia serie de 3600 ohm se ha intercalado un atenuador variable de 3900 ohm, mediante el cual es posible mantener, en todo instante, la resistencia del VU-metro en unas 10 veces la correspondiente al circuito que está midiendo.

Los atenuadores que se emplean en conjunto con los VU-metros están calibrados comenzando con (+ 4) dBm y continuando hasta (+ 44) dBm en pasos de 2 dB. Asimismo se suministra una posición correspondiente a 0 dBm. La razón de ello es que colocando el resistor de 3600 ohm delante del atenuador da lugar a una pérdida de 4 dB.

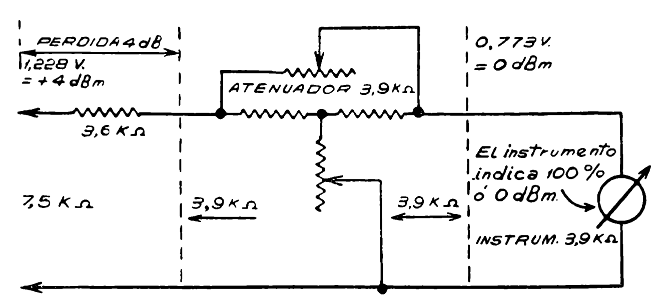


Fig. 60. — Circuito completo de un VU-metro.

Colocando el conjunto con el atenuador en posición (+ 4) dBm (posición de pérdida cero) en un circuito de 600 ohm de impedancia, en el cual se desarrolla una potencia de 1 mW, la aguja se desviará hasta la marca 0 dBm. Cuando se inserta la resistencia de 3600 ohm en el circuito la sensibilidad baja 4 dB, por lo tanto cuando la aguja se desplaza a 100 % ello indicará una entrada de (+ 4) dBm. En la tabla XXXI suministramos todos los valores necesarios para la construcción de atenuadores para VU-metros.

Algo que debe tenerse muy en cuenta es que cuando se coloca un VU-metro en un circuito, tomará una pequeña potencia del mismo, que se denomina *pérdida de inserción*. Para determinar en cuánto será afectado el nivel del circuito se aplicará la siguiente fórmula de corrección

$$\text{dB corrección} = 20 \log_{10} \frac{2\,Z \text{ del instrumento} + Z \text{ del circuito}}{2Z \text{ del instrumento}}$$

Así, si la impedancia del instrumento es de 5000 ohm y la del circuito 500 ohm, entonces las pérdidas por inserción serán

$$\text{dB} = 20 \log_{10} \frac{2 \times 5000 + 500}{2 \times 5000} = 0{,}424$$

A continuación se suministra una tabla que permite resolver, sin necesidad de cálculos, la mayor parte de los problemas de pérdida de inserción generalmente encontrados.

TABLA XXXI
PERDIDAS DE INSERCION

Z del instrumento (ohm)	Z de la línea (ohm)	Pérdidas de inserción (dB)
5000	500	0,42
5000	600	0,51
7500	500	0,28
7500	600	0,34
10000	500	0,21
10000	600	0,26

II) EL DECIBEL Y LA UNIDAD "S". MEDIDORES DE INTENSIDAD DE PORTADORA DE RADIOFRECUENCIA

Los receptores de comunicaciones están equipados, en su mayoría, con un medidor de intensidad de portadora, conocido asimismo como *medidor de S* (*S* de "signal-strenght"), con el fin de poder tener una idea acerca de la intensidad de las señales de llegada al receptor. La escala de estos instrumentos está calibrada en *unidades S*, de acuerdo con el siguiente código

S-1 = señales audibles pero no legibles
S-2 = señales débiles
S-3 = señales débiles
S-4 = señales discretas
S-5 = señales regularmente buenas
S-6 = señales buenas
S-7 = señales regularmente fuertes
S-8 = señales fuertes
S-9 = señales extremadamente fuertes

Estas unidades *S* corresponden, en la práctica corriente, a un aumento de la intensidad de la portadora de 6 dB. En general, se divide la mitad inferior de la escala en 9 unidades *S*, en tanto que la mitad superior se divide en cuatro pasos, representando cada uno de ellos un aumento de 10 dB sobre *S-9*.

A pesar de que no existe nada normalizado, la mayor parte de los medidores de intensidad de portadora emplean una señal de 100 μ V para *S-9*.

Téngase en cuenta que la calibración de la escala solo es válida para la frecuencia a la cual ha sido efectuada, puesto que en otras bandas, y aún en distintas partes de una misma banda, la ganancia cambia y la calibración ya no es precisa. Todo esto hace que, en la mayor parte de los casos,

los aficionados opten por señalar el valor de *S-9*, ajustando la sensibilidad del instrumento, para una señal que se juzga a oído como de intensidad adecuada. Luego se divide el espacio de 0 a 9 en partes iguales.

Este método no deja de ser bastante empírico, siendo mejor ajustar a *S-9* para aquella señal que hace que no se oigan los ruidos de fondo del receptor. Si se quiere calibrar el medidor de *S* por comparación con otro, tendrá que conectarse los dos instrumentos a la misma antena y tener iguales

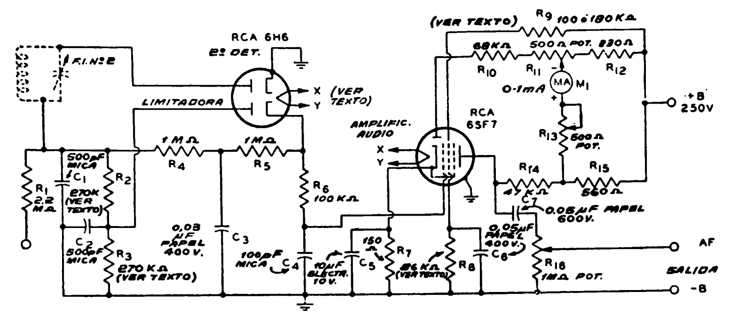


Fig. 61. — Circuito completo de un medidor de unidades *S*.

impedancias de entrada, o por lo menos no muy distintas. Asimismo, las señales deberán ser locales, con el fin de eliminar los efectos del desvanecimiento.

Anteriormente hemos dicho que la escala de unidades *S* se divide en partes iguales. Esto es válido solamente cuando la desviación de la aguja del instrumento es logarítmica, lo que sucede cuando el medidor es excitado por la tensión continua de salida de un detector siguiente a etapas de r.f. controladas por c.a.s.

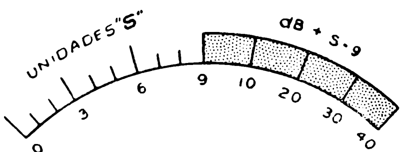


Fig. 62. — Escala de un medidor de unidades *S*.

En la fig. 61 se expone el circuito de un medidor de unidades *S* que responde a las características recién enunciadas (J. H. Owen, A New Superhet S-Meter Circuit; RCA Ham Tips, nov, 1952). El circuito del medidor de *S* constituye la adaptación de un circuito de puente electrónico, con el fin de obtener una diferencia de tensión entre dos puntos en un circuito divisor. La placa de la *6SF7* y el diodo funcionan como dos brazos de un circuito puente, de modo que las tensiones a través de los terminales del puente dependen del flujo de electrones en una sola válvula. Esta disposición evita la desviación violenta de la aguja del instrumento cuando el receptor es sintonizado, debido a que la corriente comienza a fluir en cada sección uniformemente, a medida que el cátodo se calienta.

El ajuste cero del instrumento se obtiene por medio del potenciómetro *R11*; este control establece un punto de tensión en el brazo del diodo, que es igual a la tensión en el punto de unión de *R14* y *R15* (en el brazo del circuito de placa) durante la ausencia de señal. Cuando se sintoniza una señal, el detector desarrolla una polarización negativa que queda aplicada a la grilla de la *6SF7* y, a su vez, reduce la corriente continua de placa sin afectar la corriente del diodo. Esta reducción en la corriente de placa produce un aumento en la tensión en el terminal positivo del instrumento, permaneciendo constante el potencial en el terminal negativo. De este modo el instrumento es desviado por la corriente que fluye como resultado de la diferencia de tensión a través de los terminales. El potenciómetro *R13* constituye un control de ajuste fino para fijar el valor de *S-9*.

Para efectuar el ajuste se procederá de la siguiente manera: se tomará una batería de 22,5 volt y, luego, se conectará un potenciómetro de 50.000 ohm de un polo a otro, llevando el positivo a masa y el cursor a *R1* en el punto marcado *CAV*. Con el control de ganancia de r.f. del receptor, gírese el cursor del potenciómetro hasta el punto en que desaparezcan los ruidos de fondo. La tensión en el brazo del potenciómetro es ahora la misma que la tensión del c.a.v. que desarrollará una señal de intensidad *S-9*. Desconéctese el brazo del potenciómetro de la batería de *R1*; conécteselo directamente a la grilla de la *6SF7* y ajústese *R13* de modo que el instrumento indique *S-9*.

III) EL DECIBEL Y LOS MEDIDORES DE PORCIENTO DE MODULACION

El medidor de porciento de modulación constituye otro instrumento cuya escala está graduada en decibeles, de acuerdo con la siguiente tabla de conversión:

TABLA XXXII

CONVERSION DE dB A % MODULACION

dB	% modulación
1,8	120
0,9	110
0,0	100
— 0,9	90
— 1,8	80
— 3,0	70
— 4,0	63
— 5,0	56
— 6,0	50
— 7,9	40
— 11,0	30
— 14,0	20
— 20,0	10

Los dos primeros valores constituyen casos de *sobremodulación*.

El circuito de un medidor de modulación muy utilizado es el que se expone en la fig. 63 (The Radio Amateur's Handbook, ARRL). Como puede apreciarse, consta de una bobina de toma, un diodo rectificador, un medidor de portadora y otro de modulación. El medidor de portadora cumple dos funciones; en primer lugar, se utiliza como índice del nivel de portadora al cual trabajará el monitor, y en segundo lugar indica cualquier desplazamiento de la portadora durante la modulación, la que constituye un índice de desigualdades en las crestas positivas y negativas.

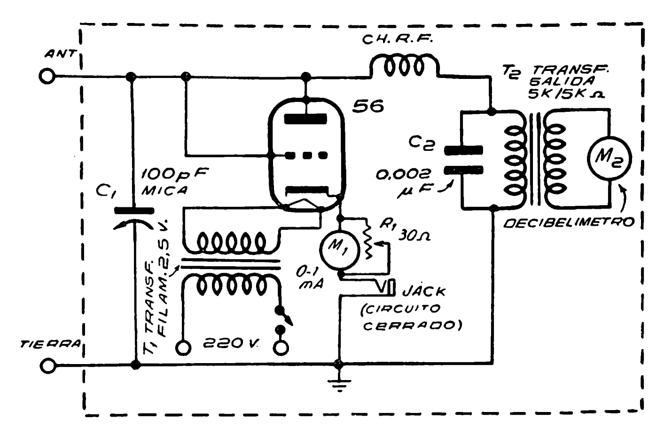


Fig. 63. — Circuito de un medidor de modulación.

La válvula opera como rectificador lineal por diodo, proporcionanando una tensión instántanea de salida proporcional a la envolvente de la portadora. Esta tensión de salida es aplicada a través de un filtro de paso de baja consistente en un choke de radiofrecuencia, un condensador de paso y un transformador de salida de a.f. El instrumento indicador de modulación se coloca entre los extremos del secundario del transformador, significando una carga muy reducida debido a que la impedancia de un instrumento de este tipo es de unos 5000 ohm. Las lecturas proporcionadas son del valor medio a ambos lados de la onda o crestas de onda completa.

Como indicador de las crestas de modulación puede utilizarse cualquier instrumento a rectificador, del tipo rápido.

Para el ajuste del dispositivo habrá que recurrir a los oficios de otro monitor de modulación o a un osciloscopio de rayos catódicos. Se colocará una antena de modo que se produzca una desviación de por lo menos la mitad de la escala de nivel de portadora, con las chapas del condensador completamente entradas. Para 100 % de modulación (indicado por el mo-

nitor de la estación) la aguja del instrumento que se desea calibrar deberá acusar un movimiento menor de 0 dB. Disminuyendo después la resistencia *R1* y girando, al mismo tiempo, el condensador *C1* de modo de reducir su capacidad, se llevará la aguja del instrumento a la mitad de la escala de la portadora, continuándose el ajuste hasta que el medidor de modulación llegue a 0 dB cuando el monitor de modulación indique 100 %. Se ajustará *R1* sobre ese punto.

Los auriculares telefónicos permitirán apreciar como "sale" la transmisión, pero deberán ser retirados durante la calibración.

IV): MEDIDORES DE POTENCIA DE SALIDA

Un medidor de salida es un dispositivo que permite medir la potencia entregada por un amplificador, receptor, etc., pudiendo ser esta indicación en decibeles con respecto a un nivel cero prefijado, o bien directamente en watt. Otras aplicaciones del medidor de salida son las siguientes:

1) determinación del efecto que produce la variación de la impedancia de carga sobre la potencia de salida;

2) determinación de la impedancia característica de una línea telefónica, así como de la carga más adecuada para un fonocaptor, oscilador, etc.;

3) como indicador de salida durante las pruebas o mediciones de sensibilidad, selectividad, fidelidad, ancho de banda, etc., en un receptor, amplificador u otro dispositivo electrónico.

Como ya sabemos, las indicaciones en watt en un decibelímetro, sólo son válidas para el caso de que la medición se efectúe sobre una carga de igual valor que la resistencia tomada como base para establecer el nivel cero de potencia. Cuando la impedancia del circuito que se va a medir es distinta, entonces habrá que introducir una corrección, en la forma como ya hemos estudiado. Con el fin de evitar este inconveniente, es que se coloca, en los medidores de potencia de salida, un transformador adaptador de impedancias, tal como ya lo hemos visto en el capítulo V, que permite que la lectura se efectúe, siempre, sobre una carga del valor para el cual ha sido calibrado el instrumento (generalmente 0 dB = 1 mW/600 ohm).

Para poder controlar una amplia gama de potencias se introduce el atenuador entre el instrumento a rectificador y el secundario del transformador. Para compensar la variación de las pérdidas del transformador en las distintas derivaciones, se intercalan resistencias en serie (Fig. 64), de modo que el atenuador reciba una fracción constante de la energía total que se mide. Las resistencias en serie con cada derivación del primario se eligen (F. E. Terman, "Measurements in Radio Engineering") de modo tal que la resistencia total en corriente continua en el circuito primario sea proporcional al cuadrado de las espiras primarias, mientras que la resistencia en serie con las derivaciones del secundario se elige de modo tal que resulte constante la suma de la resistencia propia del secundario y la agregada.

La resistencia R en serie con el instrumento a rectificador está destinada a asegurar que la resistencia aa, mirando hacia la derecha, sea constante,

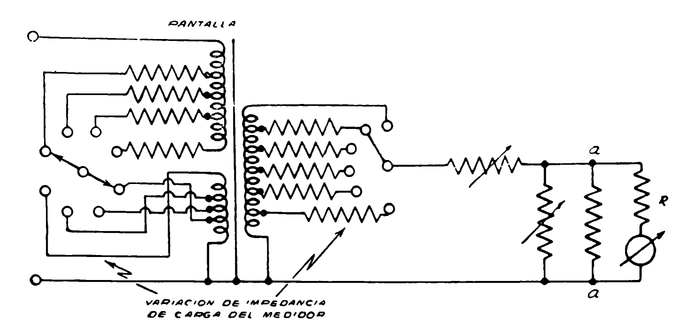


Fig. 64. — Medidor de potencia de salida.

a pesar de las variaciones de la resistencia del rectificador con la corriente debe ser de cinco a diez veces mayor que la resistencia del rectificador.

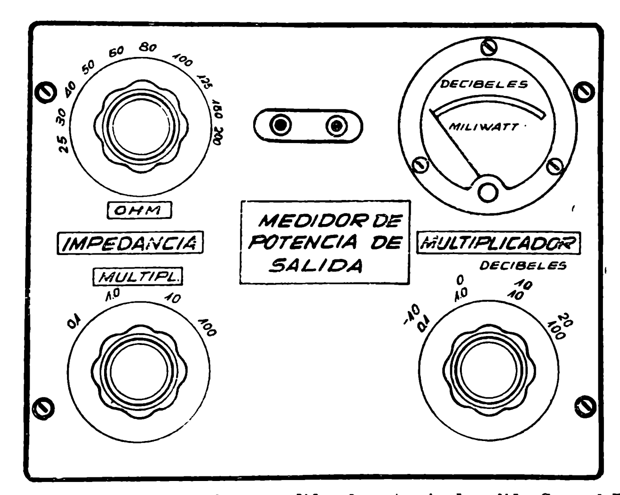


Fig. 65. — Vista del frente de un medidor de potencia de salida General Radio.

Una vista del frente de un instrumento comercial, que responde a las características descriptas, es el que se expone en la figura 65 (General Radio Co), pudiendo verse en el rincón superior izquierdo la selectora de im-

pedancias, hasta 200 ohm. Justo debajo se tiene un multiplicador que permite elevar estas impedancias hasta 20.000 ohm. En el rincón superior de la derecha se halla el instrumento, calibrado en decibeles hasta 50 miliwatt, en tanto que justo debajo se tiene el multiplicador que permite manejar potencias de hasta 20 dB más altas (100 veces). La escala de decibeles está calibrada en indicaciones hasta (+ 17) dB (nivel 0 dB = 1 mW/600 ohm). La lectura será directa cuando el multiplicador está en la posición "× 1.0", en las otras posiciones habrá que agregar o deducir decibeles, según el caso. Así:

TABLA XXXIII

CORRECCION DE ACUERDO CON LA POSICION DEL MULTIPLICADOR

Posición del multiplicador	**Sumar a la lectura del instrumento ...**
× 0,1	— 10 dB
× 1,0	0 dB
× 10,0	+ 10 dB
× 100	+ 20 dB

Frente a la marcación correspondiente a 0 mW no se marca ningún valor en decibeles, como es lógico.

V): EL DECIBEL Y EL PHON-UNIDADES DE SONORIDAD MEDIDORES DE NIVEL DE INTENSIDAD DEL SONIDO

1) Definición. — El medidor de *nivel de intensidad* es un instrumento que se emplea para establecer el nivel de intensidad de ruidos o sonidos en un ambiente. Consta, en esencia, de un micrófono, un atenuador variable, una red de compensación y un medidor calibrado directamente en decibeles. El micrófono es, generalmente, del tipo piezoeléctrico; la escala del instrumento viene indicada hasta 100 decibel, en pasos de 10. El nivel de referencia es la intensidad sonora correspondiente al nivel mínimo de audibilidad a 1000 c/s, que como ya sabemos es de 10^{-16} watt/cm^2. Una medición efectuada en esa forma, sólo nos dice cuál es el valor del nivel de intensidad sonora, pero no nos da una idea de como responde al oído a ese nivel de intensidad, debido a que en tanto que el instrumento proporciona resultados independientes de la frecuencia, no sucede lo mismo con el oído. Así, dos sonidos de distinta frecuencia, que según el instrumento poseen el mismo nivel de intensidad, pueden no ser percibidos en la misma forma por el oído, pareciendo uno de ellos de mayor intensidad sonora que el otro. El asunto sería susceptible de remediarse, aplicando algún factor de corrección que tenga en cuenta la frecuencia, pero lamentablemente no existe ley conocida alguna que exprese la relación entre la intensidad sonora

subjetiva (o sonoridad) y la frecuencia. Más aún, las cosas se complican en mucho mayor grado, debido a que la variación de la respuesta del oído con la frecuencia no se mantiene igual a cualquier nivel sonoro, o sea que si escuchamos a un nivel correspondiente al mínimo de audibilidad (0 dB) la diferencia de sonoridad será distinta que en el caso de estar escuchando a un nivel de intensidad sonora de 120 dB (límite superior de audibilidad).

2) Las curvas isofónicas. — Con el fin de resolver el problema de la respuesta del oído a las diversas frecuencias, *Fletcher y Munson* realizaron una

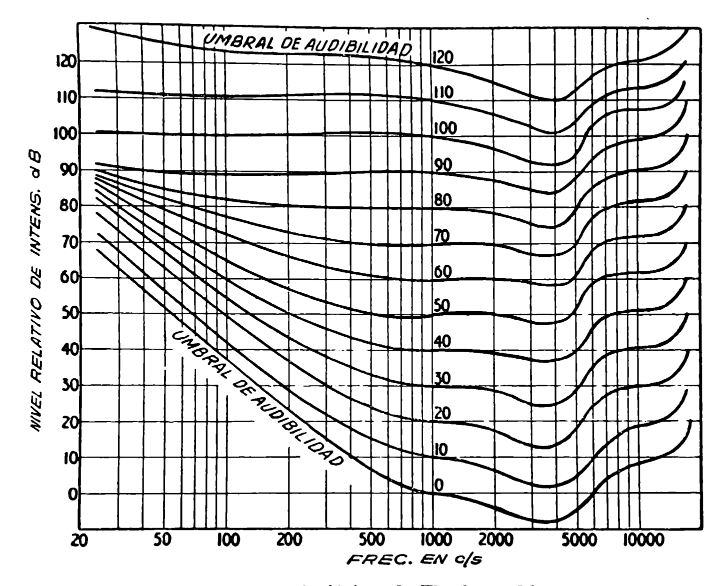


Fig. 66. — Curvas isofónicas de Fletcher y Munson.

serie de experiencias, que han quedado como clásicas en este campo de investigaciones. Las pruebas fueron realizadas en 200 oídos, escuchando, alternativamente, un sonido de intensidad y frecuencia arbitraria, comparándolo luego con un sonido de 1000 c/s, cuya intensidad era ajustada hasta que el oído considerase a ambas fuentes como de igual sonoridad. Resumiendo estas experiencias en un gráfico, los investigadores mencionados obtuvieron las curvas de la figura 66, que llevan, en las ordenadas, valores crecientes de niveles de intensidad, en dB, por encima del nivel mínimo de audibilidad, en tanto que en las abscisas figuran frecuencias en c/s, correspondientes a la banda de audiofrecuencias. Estas curvas se conocen como

"curvas o contornos de igual sonoridad" o bien "curvas isofónicas", representando cada una de ellas los niveles de intensidad sonora correspondientes a sonidos de diferente frecuencia pero de igual sonoridad. Así, una nota de 40 c/s, con un nivel de intensidad sonora de 72 dB, tiene la misma intensidad sonora subjetiva (o sonoridad) que una nota de 1000 c/s pero de 30 dB, o una nota de 4000 c/s de 27 dB. Asimismo, si tomamos dos sonidos de igual nivel de intensidad según el instrumento, por ejemplo 70 dB, pero siendo uno de ellos de 28 c/s y el segundo de 1000 c/s, no serán percibidos con la misma intensidad por el oído, puesto que los niveles de sonoridad serán, respectivamente, de 10 y 70 dB.

3) El "Phon". — En vista de la diferencia de respuesta del oído con las frecuencias, y con el fin de tener un patrón de referencia para la comparación de las intensidades sonoras subjetivas, es que se ha resuelto utilizar la sonoridad de 1000 c/s para tales efectos, y expresar el resultado en una unidad denominada *PHON*. Así, por ejemplo, para expresar la sonoridad de un tono puro de 40 c/s, de 72 dB, diremos, basándonos en las curvas isofónicas, que su sonoridad es igual que la de una nota de 1000 c/s de 30 dB o, abreviando, que su sonoridad es de 30 phon. Asimismo, tendrá 30 phon una nota de 4000 c/s a un nivel sonoro de 27 dB. Como podemos ver, ambos niveles se hallan sobre el mismo contorno que pasa por el punto correspondiente a 1000 c/s, 30 dB.

4) La ley de Weber. — Téngase bien presente que el hecho de transformar el nivel sonoro de una nota dada, a phons, o sea en nivel a 1000 c/s, no nos da una idea de la sonoridad propiamente dicha, sino que simplemente nos permite efectuar una comparación con la sonoridad de una nota tomada como patrón. Es lo mismo que afirmar que dos objetos son iguales en altura, pero ello no nos dice nada acerca de la altura propiamente dicha.

La interrelación entre la intensidad sonora, tal como la indica el instrumento y la intensidad sonora subjetiva fué investigada, por vez primera, por *Weber*, y su conclusión recibe el nombre de *ley de Weber*, la que puede expresarse de la siguiente manera: *el incremento en el estímulo, necesario para producir el incremento perceptible mínimo en la sensación, es proporcional al estímulo preexistente.* Si llamamos W a una presión sonora dada, que da lugar a una sensación correspondiente, y suponiendo que se necesite un incremento ΔW para obtener un aumento perceptible mínimo (o sea el mínimo de aumento que puede percibir el oído), que llamaremos Δs, entonces Weber suministra la siguiente relación:

$$k\left(\frac{\Delta W}{W}\right) = \Delta s$$

donde k constituye una constante. Como vemos, el incremento perceptible mínimo no depende solamente del incremento del estímulo (ΔW) sino de la relación entre este incremento del estímulo y el estímulo mismo (W).

De acuerdo con esto, iguales incrementos de presión no producirán iguales incrementos de sensación si es que el estímulo preexistente es distinto. Un mismo incremento a un nivel de intensidad sonora de 60 dB no producirá la misma sensación de aumento de sonoridad que a un nivel de intensidad sonora de 100 dB. De acuerdo con la fórmula anterior, este aumento será menor a medida que es más elevado el nivel de intensidad sonora.

5) Ley de Weber-Fechner. — *Fechner* integró la ecuación anterior, obteniendo la siguiente expresión:

$$\Delta s = k \log \Delta W$$

que se conoce como *ley de Weber-Fechner.* Como vemos, de acuerdo con esta ley, el aumento de sensación sonora no es proporcional al aumento del estímulo, sino al *logaritmo* de este aumento. Se explica, así, la conveniencia de emplear, en los cálculos relacionados con problemas de acústica, la unidad decibel, que también es de carácter logarítmico. En una palabra, el decibel constituye una unidad que sigue la misma ley que el aumento de sensación auditiva.

6) Unidades de sonoridad. — *Fletcher* y *Munson, Geiger* y *Firestone* y otros investigadores, han realizado una serie de mediciones experimentales que han confirmado, en lineamientos generales, la ley de *Weber-Fechner.* El gráfico de la figura 67 resume estas experiencias, suministrando la relación existente el nivel de sonoridad (en phon) y la sensación sonora (o sonoridad). Esta última se expresa en *unidades de sonoridad* (Loudness Units), que se abrevian *LU.* Algunos autores expresan la sonoridad en la unidad *son*:

$$1 \text{ son} = 40 \text{ phon} = 1000 \text{ LU} = 2 \times 10^{-4}\ \mu\text{bar}$$

Luego:

$$1000 \text{ LU} = 1000 \text{ milison}$$

El empleo de este gráfico es sumamente interesante, puesto que permite sumar directamente las unidades de sonoridad. Así, un sonido de 100 unidades de sonoridad será, para el oído, dos veces más intenso que otro de 50 unidades, y 10 veces mayor que uno de 10 unidades. La unidad de sonoridad es la correspondiente al nivel mínimo de audibilidad a 1000 c/s.

En la tabla XXXIV se suministran valores de conversión de nivel de intensidad sonora (en dB) a *son* directamente, lo que abrevia mucho el cálculo.

Esto que acabamos de decir tiene suma importancia, máxime si se tiene en cuenta que *los phons no se pueden sumar directamente.* O sea que un sonido de 100 phon no es de doble sonoridad que otro de 50 phon.

Que lo anterior es cierto se deduce del siguiente cálculo: 100 phon representan un nivel de intensidad sonora de 10^{10} veces con respecto al nivel mínimo de audibilidad; a su vez, 50 phon corresponden a un nivel de 10^5

TABLA XXXIV

CONVERSION DE NIVEL DE INTENSIDAD SONORA (EN dB) A "SON"

dB	40~	dB	50~	dB	63~	dB	80~	dB	100~	dB	125~	dB	160~
40		40		40		40		40		40		40	
41		41		41		41		41		41		41	
42		42		42		42		42		42		42	
43		43		43		43		43		43		43	0,10
44		44		44		44		44		44		44	0,12
45		45		45		45		45		45		45	0,15
46		46		46		46		46		46		46	0,18
47		47		47		47		47		47	0,10	47	0,23
48		48		48		48		48		48	0,12	48	0,28
49		49		49		49		49		49	0,15	49	0,34
50		50		50		50		50		50	0,18	50	0,40
51		51		51		51		51	0,10	51	0,23	51	0,47
52		52		52		52		52	0,12	52	0,28	52	0,54
53		53		53		53		53	0,15	53	0,34	53	0,63
54		54		54		54		54	0,18	54	0,41	54	0,73
55		55		55		55	0,10	55	0,23	55	0,49	55	0,86
56		56		56		56	0,13	56	0,28	56	0,58	56	1,00
57		57		57		57	0,16	57	0,34	57	0,70	57	1,17
58		58		58		58	0,21	58	0,42	58	0,84	58	1,36
59		59		59		59	0,27	59	0,52	59	1,00	59	1,59
60		60		60	0,10	60	0,34	60	0,65	60	1,17	60	1,85
61		61		61	0,14	61	0,42	61	0,81	61	1,36	61	2,15
62		62		62	0,18	62	0,52	62	1,00	62	1,59	62	2,40
63		63		63	0,25	63	0,65	63	1,17	63	1,85	63	2,70
64		64	0,10	64	0,34	64	0,81	64	1,36	64	2,15	64	3,00
65		65	0,14	65	0,42	65	1,00	65	1,59	65	2,45	65	3,34
66		66	0,18	66	0,52	66	1,21	66	1,85	66	2,78	66	3,72
67		67	0,25	67	0,65	67	1,47	67	2,15	67	3,16	67	4,16
68	0,10	68	0,34	68	0,81	68	1,78	68	2,51	68	3,61	68	4,64
69	0,14	69	0,45	69	1,00	69	2,15	69	2,93	69	4,07	69	5,17
70	0,18	70	0,58	70	1,29	70	2,51	70	3,42	70	4,64	70	5,79
71	0,25	71	0,77	71	1,67	71	2,93	71	3,98	71	5,29	71	6,46
72	0,34	72	1,00	72	2,15	72	3,42	72	4,64	72	5,99	72	7,20
73	0,49	73	1,29	73	2,61	73	3,98	73	5,40	73	6,81	73	8,02
74	0,70	74	1,67	74	3,16	74	4,64	74	6,30	74	7,77	74	9,00
75	1,00	75	2,15	75	3,83	75	5,40	75	7,35	75	8,79	75	10,00
76	1,29	76	2,78	76	4,64	76	6,30	76	8,60	76	10,00	76	11,47
77	1,67	77	3,61	77	5,62	77	7,35	77	10,00	77	11,47	77	12,90
78	2,15	78	4,64	78	6,81	78	8,60	78	11,47	78	12,90	78	14,80
79	2,78	79	5,62	79	8,26	79	10,00	79	12,90	79	14,80	79	16,80
80	3,61	80	6,81	80	10,00	80	11,70	80	14,80	80	16,80	80	19,05
81	4,64	81	8,26	81	11,47	81	13,70	81	16,80	81	19,05	81	21,60
82	5,99	82	10,00	82	12,90	82	16,00	82	19,05	82	21,60	82	23,60
83	7,77	83	11,70	83	14,80	83	18,60	83	21,60	83	24,00	83	25,70
84	10,00	84	13,70	84	16,80	84	21,60	84	24,20	84	26,30	84	28,06
85	12,20	85	16,00	85	19,05	85	24,20	85	27,18	85	29,10	85	30,54
86	14,80	86	18,60	86	21,60	86	27,18	86	30,28	86	31,90	86	33,28
87	17,95	87	21,60	87	24,76	87	30,28	87	33,56	87	35,24	87	36,32
88	21,60	88	25,30	88	28,06	88	33,56	88	37,38	88	38,50	88	39,52
89	25,30	89	29,50	89	31,90	89	37,38	89	41,92	89	42,56	89	42,88
90	29,50	90	34,40	90	36,32	90	41,92	90	47,00	90	47,00	90	47,00
91	34,40	91	40,20	91	41,04	91	47,00	91	51,00	91	51,00	91	51,00
92	40,20	92	47,00	92	47,00	92	51,30	92	55,00	92	55,00	92	55,00
93	47,00	93	51,90	93	51,00	93	55,72	93	59,00	93	59,00	93	59,00
94	52,20	94	56,80	94	56,80	94	60,20	94	64,00	94	64,00	94	64,00
95	58,56	95	62,80	95	62,80	95	65,60	95	68,00	95	68,00	95	68,00
96	65,20	96	68,00	96	68,00	96	72,20	96	74,00	96	74,00	96	74,00
97	72,90	97	75,80	97	75,80	97	78,20	97	80,00	97	80,00	97	80,00
98	80,60	98	83,00	98	83,00	98	84,80	98	86,00	98	86,00	98	86,00
99	90,60	99	91,80	99	91,80	99	92,40	99	93,00	99	93,00	99	93,00
100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00

dB	200~	dB	250~	dB	315~	dB	400~	dB	500~	dB	630~	dB	800~
20		20		20		20		20		20		20	0,10
21		21		21		21		21		21		21	0,11
22		22		22		22		22		22	0,10	22	0,13
23		23		23		23		23		23	0,11	23	0,14
24		24		24		24		24		24	0,13	24	0,16
25		25		25		25		25	0,10	25	0,15	25	0,18
26		26		26		26		26	0,11	26	0,17	26	0,21
27		27		27		27		27	0,13	27	0,20	27	0,24
28		28		28		28	0,10	28	0,15	28	0,23	28	0,27
29		29		29		29	0,12	29	0,17	29	0,26	29	0,30
30		30		30		30	0,14	30	0,20	30	0,30	30	0,34
31		31		31		31	0,16	31	0,23	31	0,34	31	0,38
32		32		32	0,10	32	0,18	32	0,26	32	0,38	32	0,42
33		33		33	0,12	33	0,22	33	0,30	33	0,43	33	0,47
34		34		34	0,14	34	0,25	34	0,34	34	0,49	34	0,52
35		35		35	0,17	35	0,29	35	0,39	35	0,55	35	0,58
36		36	0,10	36	0,20	36	0,34	36	0,45	36	0,62	36	0,65
37		37	0,12	37	0,24	37	0,39	37	0,51	37	0,70	37	0,72
38		38	0,14	38	0,29	38	0,45	38	0,58	38	0,79	38	0,81
39		39	0,17	39	0,34	39	0,51	39	0,67	39	0,89	39	0,90
40	0,10	40	0,20	40	0,39	40	0,58	40	0,77	40	1,00	40	1,00
41	0,12	41	0,24	41	0,45	41	0,67	41	0,88	41	1,08	41	1,08
42	0,15	42	0,29	42	0,51	42	0,77	42	1,00	42	1,17	42	1,17
43	0,18	43	0,34	43	0,58	43	0,88	43	1,09	43	1,26	43	1,26
44	0,23	44	0,40	44	0,67	44	1,00	44	1,18	44	1,36	44	1,36
45	0,28	45	0,47	45	0,77	45	1,10	45	1,29	45	1,47	45	1,47
46	0,34	46	0,54	46	0,88	46	1,21	46	1,40	46	1,59	46	1,59
47	0,40	47	0,63	47	1,00	47	1,34	47	1,54	47	1,71	47	1,71
48	0,47	48	0,73	48	1,11	48	1,47	48	1,67	48	1,85	48	1,85
49	0,54	49	0,86	49	1,25	49	1,62	49	1,82	49	2,00	49	2,00
50	0,63	50	1,00	50	1,39	50	1,78	50	1,98	50	2,15	50	2,15
51	0,73	51	1,11	51	1,55	51	1,97	51	2,15	51	2,33	51	2,33
52	0,86	52	1,25	52	1,72	52	2,15	52	2,34	52	2,51	52	2,51
53	1,00	53	1,39	53	1,94	53	2,34	53	2,55	53	2,72	53	2,72
54	1,14	54	1,55	54	2,15	54	2,55	54	2,78	54	2,93	54	2,93
55	1,29	55	1,72	55	2,34	55	2,78	55	3,02	55	3,16	55	3,16
56	1,47	56	1,94	56	2,55	56	3,02	56	3,31	56	3,42	56	3,42
57	1,67	57	2,15	57	2,78	57	3,31	57	3,61	57	3,69	57	3,69
58	1,89	58	2,38	58	3,02	58	3,61	58	3,92	58	3,98	58	3,98
59	2,15	59	2,61	59	3,31	59	3,92	59	4,26	59	4,30	59	4,30
60	2,40	60	2,88	60	3,61	60	4,26	60	4,64	60	4,64	60	4,64
61	2,70	61	3,16	61	3,92	61	4,64	61	5,00	61	5,00	61	5,00
62	3,00	62	3,50	62	4,26	62	5,00	62	5,40	62	5,40	62	5,40
63	3,34	63	3,83	63	4,64	63	5,40	63	5,83	63	5,83	63	5,83
64	3,72	64	4,23	64	5,13	64	5,83	64	6,30	64	6,30	64	6,30
65	4,16	65	4,64	65	5,62	65	6,30	65	6,81	65	6,81	65	6,81
66	4,64	66	5,17	66	6,21	66	6,81	66	7,35	66	7,35	66	7,35
67	5,17	67	5,79	67	6,81	67	7,35	67	7,95	67	7,95	67	7,95
68	5,79	68	6,46	68	7,54	68	7,95	68	8,60	68	8,60	68	8,60
69	6,46	69	7,20	69	8,26	69	8,60	69	9,30	69	9,30	69	9,30
70	7,20	70	8,02	70	9,11	70	9,30	70	10,00	70	10,00	70	10,00
71	8,02	71	9,00	71	10,00	71	10,00	71	10,90	71	10,90	71	10,90
72	9,00	72	10,00	72	10,95	72	10,95	72	11,70	72	11,70	72	11,70
73	10,00	73	11,10	73	11,90	73	11,90	73	12,60	73	12,60	73	12,60
74	11,10	74	12,20	74	12,90	74	12,90	74	13,70	74	13,70	74	13,70
75	12,20	75	13,50	75	14,10	75	14,10	75	14,80	75	14,80	75	14,80
76	13,50	76	14,80	76	15,60	76	15,60	76	16,00	76	16,00	76	16,00
77	14,80	77	16,35	77	16,80	77	16,80	77	17,20	77	17,20	77	17,20
78	16,35	78	17,95	78	18,40	78	18,40	78	18,60	78	18,60	78	18,60
79	17,95	79	19,80	79	19,90	79	19,90	79	20,00	79	20,00	79	20,00
80	19,80	80	21,60	80	21,60	80	21,60	80	21,60	80	21,60	80	21,60
81	21,60	81	23,40	81	23,40	81	23,40	81	23,40	81	23,40	81	23,40
82	23,60	82	25,30	82	25,30	82	25,30	82	25,30	82	25,30	82	25,30
83	25,70	83	27,40	83	27,40	83	27,40	83	27,40	83	27,40	83	27,40
84	28,06	84	29,50	84	29,50	84	29,50	84	29,50	84	29,50	84	29,50
85	30,54	85	31,90	85	31,90	85	31,90	85	31,90	85	31,90	85	31,90
86	33,28	86	34,40	86	34,40	86	34,40	86	34,40	86	34,40	86	34,40
87	36,32	87	37,10	87	37,10	87	37,10	87	37,10	87	37,10	87	37,10
88	39,52	88	40,20	88	40,20	88	40,20	88	40,20	88	40,20	88	40,20
89	42,88	89	43,20	89	43,20	89	43,20	89	43,20	89	43,20	89	43,20
90	47,00	90	47,00	90	47,00	90	47,00	90	47,00	90	47,00	90	47,00
91	51,00	91	51,00	91	51,00	91	51,00	91	51,00	91	51,00	91	51,00
92	55,00	92	55,00	92	55,00	92	55,00	92	55,00	92	55,00	92	55,00
93	59,00	93	59,00	93	59,00	93	59,00	93	59,06	93	59,00	93	59,00
94	64,00	94	64,00	94	64,00	94	64,00	94	64,00	94	64,00	94	64,00
95	68,00	95	68,00	95	68,00	95	68,00	95	68,00	95	68,00	95	68,00
96	74,00	96	74,00	96	74,00	96	74,00	96	74,00	96	74,00	96	74,00
97	80,00	97	80,00	97	80,00	97	80,00	97	80,00	97	80,00	97	80,00
98	86,00	98	86,00	98	86,00	98	86,00	98	86,00	98	86,00	98	86,00
99	93,00	99	93,00	99	93,00	99	93,00	99	93,00	99	93,00	99	93,00
100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00	100	100,00

dB	1000~	dB	1250~	dB	1600~	dB	2000~	dB	2500~	dB	3150~	dB	4000~
20	0,10	20	0,10	20	0,11	20	0,14	20	0,17	20	0,20	20	0,18
21	0.11	21	0,11	21	0,12	21	0,16	21	0,20	21	0,22	21	0,21
22	0,13	22	0,13	22	0,14	22	0,17	22	0,22	22	0,24	22	0,24
23	0,14	23	0,14	23	0,16	23	0,20	23	0.24	23	0,27	23	0,27
24	0,16	24	0,16	24	0,17	24	0,22	24	0,27	24	0,30	24	0,30
25	0,18	25	0,18	25	0,20	25	0,24	25	0,30	25	0,34	25	0,34
26	0,21	26	0,21	26	0,22	26	0,27	26	0,34	26	0,37	26	0,37
27	0,24	27	0,24	27	0,24	27	0,30	27	0,37	27	0,41	27	0,41
28	0,27	28	0,27	28	0,27	28	0,34	28	0,41	28	0,46	28	0,46
29	0,30	29	0,30	29	0,30	29	0,37	29	0,45	29	0,50	29	0,50
30	0,34	30	0,34	30	0,34	30	0,41	30	0,49	30	0,55	30	0,55
31	0,38	31	0,38	31	0,38	31	0,46	31	0,54	31	0,62	31	0,62
32	0,42	32	0.42	32	0,42	32	0,50	32	0,58	32	0,68	32	0,68
33	0,47	33	0.47	33	0,47	33	0,55	33	0,64	33	0,75	33	0,75
34	0,52	34	0,52	34	0,52	34	0,62	34	0,70	34	0,83	34	0,83
35	0,58	35	0,58	35	0,58	35	0,68	35	0,77	35	0,91	35	0,91
36	0,65	36	0,65	36	0,65	36	0,75	36	0,84	36	1,00	36	1,00
37	0,72	37	0,72	37	0,72	37	0,83	37	0,92	37	1,07	37	1,07
38	0,81	38	0,81	38	0,81	38	0,91	38	1,00	38	1,15	38	1,15
39	0,90	39	0,90	39	0,90	39	1,00	39	1,07	39	1,23	39	1,23
40	1,00	40	1,00	40	1,00	40	1,07	40	1,15	40	1,32	40	1,32
41	1,08	41	1,08	41	1,08	41	1,15	41	1,23	41	1,41	41	1,41
42	1,17	42	1,17	42	1,17	42	1,23	42	1,32	42	1,53	42	1,53
43	1,26	43	1,26	43	1,26	43	1,32	43	1,41	43	1,63	43	1,63
44	1,36	44	1,36	44	1,36	44	1,41	44	1,53	44	1,75	44	1,75
45	1,47	45	1,47	45	1,47	45	1,53	45	1,63	45	1,87	45	1,87
46	1,59	46	1,59	46	1,59	46	1,63	46	1,75	46	2,01	46	2,01
47	1,71	47	1,71	47	1,71	47	1,75	47	1,87	47	2,15	47	2,15
48	1,85	48	1,85	48	1,85	48	1,87	48	2,01	48	2,33	48	2,33
49	2,00	49	2,00	49	2,00	49	2,01	49	2,15	49	2,51	49	2,51
50	2,15	50	2,15	50	2,15	50	2,15	50	2,33	50	2,72	50	2,72
51	2,33	51	2,33	51	2,33	51	2,33	51	2,51	51	2,93	51	2,93
52	2,51	52	2,51	52	2.51	52	2,51	52	2,72	52	3,16	52	3,16
53	2,72	53	2,72	53	2,72	53	2,72	53	2,93	53	3,42	53	3,42
54	2,93	54	2,93	54	2,93	54	2,93	54	3,16	54	3.69	54	3,69
55	3,16	55	3,16	55	3,16	55	3,16	55	3,42	55	3,98	55	3,98
56	3,42	56	3,42	56	3,42	56	3,42	56	3,69	56	4,30	56	4,30
57	3,69	57	3,69	57	3,69	57	3,69	57	3,98	57	4,64	57	4,64
58	3,98	58	3,98	58	3,98	58	3,98	58	4,30	58	5,00	58	5,00
59	4,30	59	4,30	59	4,30	59	4,30	59	4,64	59	5,40	59	5,40
60	4,64	60	4,64	60	4,64	60	4,64	60	5,05	60	5,83	60	5,83
61	5,00	61	5,00	61	5,00	61	5,05	61	5,50	61	6,30	61	6,30
62	5,40	62	5,40	62	5,40	62	5,50	62	5,99	62	6,81	62	6,81
63	5,83	63	5,83	63	5,83	63	5,99	63	6,50	63	7,35	63	7,35
64	6,30	64	6,30	64	6,30	64	6,50	64	7,14	64	7,95	64	7,95
65	6,81	65	6,81	65	6,81	65	7,14	65	7,77	65	8,60	65	8,60
66	7,35	66	7,35	66	7,35	66	7,70	66	8,48	66	9,30	66	9,30
67	7,95	67	7,95	67	7,95	67	8.48	67	9,21	67	10,00	67	10,00
68	8,60	68	8,60	68	8,60	68	9,21	68	10,00	68	10,95	68	10.95
69	9,30	69	9,30	69	9,30	69	10,00	69	10,90	69	11,90	69	11,90
70	10,00	10	10,00	70	10,00	70	10,90	70	11,70	70	12,90	70	12,90
71	10,90	71	10,90	71	10,90	71	11,70	71	12,60	71	14,10	71	14,10
72	11,70	72	11,70	72	11,70	72	12,60	72	13,70	72	15,60	72	15,60
73	12,60	73	12,60	73	12,60	73	13,70	73	14,80	73	16,80	73	16,80
74	13,70	74	13,70	74	13,70	74	14,80	74	16,00	74	18,40	74	18,40
75	14,80	75	14,80	75	14,80	75	16,00	75	17,20	75	19,90	75	19,90
76	16,00	76	16,00	76	16,00	76	17,20	76	18,60	76	21,60	76	21,60
77	17,20	77	17,20	77	17,20	77	18.60	77	20,00	77	24,00	77	24,00
78	18,60	78	18,60	78	18,60	78	20,00	78	21,60	78	26,30	78	26,30
79	20,00	79	20,00	79	20,00	79	21,60	79	24,00	79	29,10	79	29,10
80	21,60	80	21,60	80	21,60	80	23,60	80	26,30	80	31,90	80	31,90
81	23,40	81	23,40	81	23,60	81	25,70	81	29,10	81	35,24	81	35,24
82	25,30	82	25,30	82	25,70	82	28,06	82	31,90	82	38,50	82	38,50
83	27,40	83	27,40	83	28,06	83	30,54	83	35,24	83	42,56	83	42,56
84	29,50	84	29,50	84	30,54	84	33,28	84	38,50	84	47,00	84	47,00
85	31,90	85	31,90	85	33,28	85	36,32	85	42,56	85	51,90	85	51,90
86	34,40	86	34,40	86	36,32	86	39,52	86	47,00	86	56,80	86	56,80
87	37,10	87	37,10	87	39,52	87	42,88	87	51,30	87	62,80	87	62,80
88	40,20	88	40,20	88	42,88	88	47,00	88	55,72	88	68,00	88	68,00
89	43,20	89	43,20	89	47,00	89	51,30	89	60,20	89	75,80	89	75,80
90	47.00	90	47,00	90	51,00	90	55,72	90	65,60	90	83,00	90	83,00
91	51,00	91	51,00	91	55,00	91	60,20	91	72,20	91	91,80	91	91,80
92	55,00	92	55,00	92	59,00	92	65,60	92	78,20	92	100,00	92	100,00
93	59,00	93	59,00	93	64,00	93	72,20	93	84,80	93	108,20	93	109,00
94	64.00	94	64,00	94	68,00	94	78,20	94	92,40	94	115,40	94	117,00
95	68,00	95	68,00	95	74,00	95	84,80	95	100,00	95	124,00	95	127,00
96	74,00	96	74,00	96	80,00	96	92,40	96	109,00	96	133,00	96	137,00
97	80,00	97	80,00	97	86,00	97	100,00	97	117,00	97	142,00	97	148,00
98	86,00	98	86,00	98	93,00	98	109,00	98	127,00	98	154,00	98	160,00
99	93,00	93	93,00	99	100.00	99	117,00	99	137,00	99	164,80	99	172,00
100	100,00	100	100,00	100	109,80	100	127,00	100	148,00	100	176,20	100	187,00

dB	5000~	dB	6300~	dB	8000~	dB	10,000~	dB	12,500~	dB	16,000~
20	0,12	20		20		20		20		20	
21	0,14	21		21		21		21		21	
22	0,16	22		22		22		22		22	
23	0.17	23	0,10	23		23		23		23	
24	0,20	24	0,11	24		24		23		24	
25	0,22	25	0,12	25		25		25		25	
26	0,24	26	0,13	26		26		26		26	
27	0,27	27	0,15	27		27		27		27	
28	0,30	28	0,16	28		28		28		28	
29	0,34	29	0,18	29	0,10	29		29		29	
30	0,37	30	0.19	30	0,11	30	0,10	30		30	
31	0,41	31	0.21	31	0,12	31	0,11	31	0,10	31	
32	0,46	32	0,23	32	0,14	32	0,12	32	0,11	32	
33	0,50	33	0,26	33	0,16	33	0,14	33	0,12	33	
34	0,55	34	0,28	34	0,17	34	0,16	34	0,14	34	
35	0.62	35	0,31	35	0,20	35	0,17	35	0,16	35	
36	0.68	36	0,34	36	0,22	36	0,20	36	0,17	36	
37	0,75	37	0,37	37	0,24	37	0,22	37	0,20	37	
38	0,83	38	0,41	38	0,27	38	0,24	38	0,22	38	
39	0,91	39	0,46	39	0,30	39	0,27	39	0,24	39	
40	1,00	40	0,50	40	0,34	40	0,30	40	0,27	40	0.10
41	1,08	41	0.55	41	0.38	41	0,34	41	0,30	41	0,11
42	1,17	42	0,62	42	0,42	42	0,38	42	0,34	42	0,13
43	1,26	43	0,68	43	0,47	43	0,42	43	0,37	43	0.14
44	1,36	44	0,75	44	0,52	44	0,47	44	0,41	44	0,16
45	1,47	45	0,83	45	0,58	45	0,52	45	0,46	45	0,18
46	1,59	46	0,91	46	0,65	46	0,58	46	0,50	46	0,21
47	1,71	47	1,00	47	0,72	47	0,65	47	0,55	47	0,24
48	1.85	48	1,07	48	0,81	48	0,72	48	0,62	48	0,27
49	2,00	49	1,15	49	0,90	49	0,81	49	0,68	49	0,30
50	2,15	50	1,23	50	1,00	50	0,90	50	0,75	50	0,34
51	2,31	51	1,32	51	1,07	51	1,00	51	0,83	51	0,38
52	2,47	52	1,41	52	1,15	52	1,07	52	0,91	52	0,42
53	2,65	53	1,53	53	1,23	53	1,15	53	1,00	53	0,47
54	2,84	54	1,63	54	1,32	54	1,23	54	1,06	54	0,52
55	3,04	55	1,75	55	1,41	55	1,32	55	1,14	55	0,58
56	3,28	56	1,87	56	1,53	56	1,41	56	1,21	56	0,65
57	3,52	57	2,01	57	1,63	57	1,53	57	1,29	57	0,72
58	3,77	58	2,15	58	1,75	58	1,63	58	1,38	58	0,81
59	4,04	59	2,31	59	1,87	59	1,75	59	1,47	59	0,90
60	4,33	60	2,47	60	2,01	60	1,87	60	1,56	60	1,00
61	4,64	61	2,65	61	2,15	61	2,01	61	1,67	61	1,07
62	5,05	62	2,84	62	2,33	62	2,15	62	1,78	62	1,16
63	5,50	63	3,04	63	2,51	63	2,33	63	1,89	63	1,23
64	5,99	64	3,28	64	2,72	64	2,51	64	2,03	64	1,32
65	6,50	65	3.52	65	2,93	65	2,72	65	2,15	65	1,41
66	7,14	66	3,77	66	3,16	66	2,93	66	2,38	66	1,53
67	7,77	67	4,04	67	3,42	67	3,16	67	2,61	67	1,63
68	8,48	68	4,33	68	3,68	68	3,42	68	2,88	68	1,75
69	9,21	69	4,64	69	3,98	69	3,69	69	3,16	69	1,87
70	10,00	70	5,05	70	4,30	70	3,98	70	3,50	70	2,01
71	10,95	71	5,50	71	4,64	71	4,30	71	3,83	71	2,15
72	11,90	72	5,99	72	5,05	72	4,64	72	4,23	72	2,38
73	12,90	73	6,50	73	5,50	73	5,05	73	4,64	73	2,61
74	14,10	74	7,14	74	5,99	74	5.50	74	4,97	74	2,88
75	15,60	75	7,77	75	6,50	75	5,99	75	5,34	75	3,16
76	16,80	76	8,48	76	7,14	76	6,50	76	5,70	76	3,50
77	18,40	77	9,21	77	7,77	77	7,14	77	6,12	77	3,83
78	19,90	78	10,00	78	8,48	78	7,77	78	6,55	78	4,23
79	21,60	79	10,95	79	9,21	79	8,48	79	7,05	79	4,64
80	23,60	80	11,90	80	10,00	80	9,21	80	7,60	80	4,94
81	25,70	81	12,90	81	10,95	81	10,00	81	8,14	81	5,20
82	28,06	82	14,10	82	11,90	82	10.90	82	8,72	82	5,54
83	30,54	83	15,60	83	12,90	83	11,70	83	9,35	83	5,89
84	33,28	84	16,80	84	14,10	84	12,60	84	10,00	84	6,21
85	36,32	85	18,40	85	15,60	85	13,70	85	10,95	85	6,60
86	39,52	86	19,90	86	16,80	86	14,80	86	11,90	86	7,04
87	42,88	87	21,60	87	18,40	87	16,00	87	12,90	87	7,48
88	47,00	88	24,00	88	19,90	88	17,20	88	14,10	88	7,90
89	51,90	89	26,30	89	21,60	89	18,60	89	15,60	89	8,40
90	56,80	90	29,10	90	23,60	90	20,00	90	16,80	90	8,93
91	62,80	91	31,90	91	25,70	91	21,60	91	18,40	91	9,40
92	68,00	92	35,24	92	28,06	92	24,00	92	19,90	92	10,00
93	75,80	93	38.50	93	30,54	93	26,30	93	21,60	93	11,10
94	83,00	94	42,56	94	32,28	94	29,10	94	24,20	94	12,20
95	91,80	95	47,00	95	36,32	95	31,90	95	27.18	95	13,50
96	100,00	96	52,20	96	39,52	96	35,24	96	30,28	96	14,80
97	109,80	97	58,56	97	42,88	97	38,50	97	33.56	97	16,35
98	119,00	98	65,20	98	47,00	98	42,56	98	37,38	98	17,95
99	130,00	99	72,90	99	52,20	99	47,00	99	41,92	99	19,80
100	141,00	100	80,60	100	58,56	100	52,20	100	47,00	100	21,60

veces con respecto al mismo nivel mínimo. De acuerdo con esto, la relación entre los dos niveles tomados como ejemplos será de

$$\frac{10^{10}}{10^5} = 10^5$$

o sea de 100.000 veces. Sin embargo, este aumento sólo será el indicado por el instrumento, pero no por el oído, que sólo acusará 40 veces más

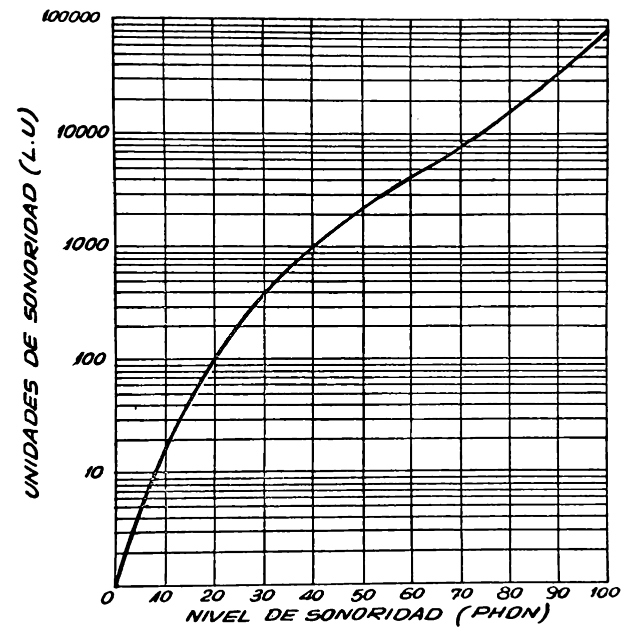


Fig. 67. — Conversión de nivel de sonoridad en *phon* a unidad de sonoridad, en *LU* o *milison*.

sonoridad. En efecto, de acuerdo con el gráfico de la figura 67 a 100 phon corresponden 80.000 unidades de sonoridad, en tanto que a 50 phon sólo se le atribuyen 2000 unidades de sonoridad. Luego:

$$\frac{80.000}{2.000} = 40$$

Si en lugar de pasar de 50 a 100 phon, pasamos de 10 a 60 phon, seguirá manteniéndose la diferencia de intensidad sonora de 50 phon, o sea una relación de 100.000 veces, pero para el oído no habrá una diferencia de 40 veces como antes, sino de 266 veces, puesto que a 60 phon le corresponden 4000 unidades de sonoridad, y a 10 phon sólo 15 unidades. Luego, el aumento de sonoridad será de:

$$\frac{4000}{15} = 266 \text{ veces}$$

como hemos dicho antes. Tal como puede apreciarse, en los niveles bajos, un mismo incremento de intensidad sonora produce un mayor aumento en la intensidad sonora subjetiva que en los niveles altos.

De acuerdo con todo lo que hemos dicho, el procedimiento para determinar la intensidad sonora subjetiva frente a un sonido de determinada frecuencia y nivel de intensidad sonora, es el siguiente:

1) se mide el nivel de intensidad sonora en *decibeles* con respecto al nivel mínimo de audibilidad;

2) se convierten los decibeles en *phon*, mediante la familia de curvas isofónicas de Fletcher y Munson (fig. 66);

3) se convierten los phon en *unidades de sonoridad* (fig. 67).

Ejemplo: un tono puro de 50 ciclos, de un nivel de intensidad sonora de 82 dB, posee un nivel de sonoridad de 70 phon, produciendo en el oído una sensación de 7800 unidades sonoras. Otra nota pura de 8000 c/s, de un nivel de 41 dB, posee una sonoridad de 360 unidades. De acuerdo con esto, la nota de 50 c/s tendrá, para el oído, una sonoridad 22 veces mayor (7800/360 = 22) que la de 8000 c/s, a los niveles especificados.

7) *Sonidos simultáneos.* — Si en un ambiente se producen dos sonidos simultáneamente, la presión total que se establece será igual a la suma de las presiones ejercidas individualmente. Lo mismo reza para la intensidad sonora (expresada en W/cm^2), pero no para el *nivel* de intensidad sonora (en dB) indicado por el instrumento. En una palabra, los niveles de intensidad sonora, en dB, no pueden sumarse. En efecto, sean tales niveles 60 y 40 dB; si expresamos los mismos en sus correspondientes valores absolutos de intensidad sonora, tendremos 10^{-10} y 10^{-12} watt/cm², respectivamente. Sumadas estas intensidades, tendremos un total de 0,000101 $\mu W/cm^2$; valor que representa un nivel de 60,04 dB referido al nivel mínimo de audibilidad de 10^{-10} $\mu W/cm^2$. Esto nos dice que la acción de los dos sonidos simultáneamente ha producido un aumento del nivel de intensidad sonora de sólo 0,04 dB sobre el nivel mayor.

Para abreviar los cálculos, incorporamos el gráfico de la figura 68, el que permite establecer los decibeles que hay que agregar al componente de *nivel más alto*, en función de la diferencia de decibeles entre los dos niveles. El estudio de este gráfico nos hace ver que cuanto mayor es la dife-

rencia entre los niveles de intensidad sonora de los dos sonidos, tanto más se oculta el de menor intensidad, aportando muy poco al nivel total. Así, si la diferencia entre los dos sonidos es de 6 dB, habrá que agregar al nivel mayor 1 dB. En cambio, si la diferencia es de 3 dB, habrá que agregar 1,75 dB. Cuando los dos sonidos son de igual nivel, entonces habrá que agregar 3 dB, lo que es lo mismo que afirmar qúe la potencia se ha duplicado.

De lo anterior se deduce que si se hallan funcionando dos altoparlantes al mismo tiempo, suministrando ambos idénticos valores de nivel de inten-

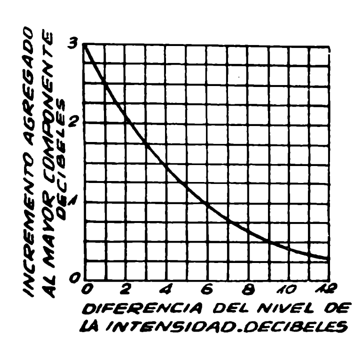


Fig. 68. — Este gráfico permite determinar los decibeles que deben agregarse al componente de nivel más alto, en función de la diferencia de niveles en dB.

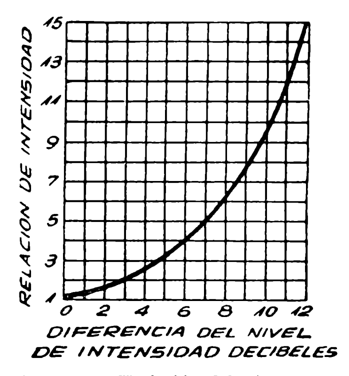


Fig. 69. — Variación del nivel de intensidad de un sonido, cuando se aumenta la intensidad del mismo en un valor dado.

sidad sonora, la energía por cm² se habrá duplicado, lo que es lo mismo que decir que el nivel sonoro habrá aumentado en 3 dB. Si uno de los altoparlantes suministra, por el contrario, un nivel sonoro muy superior al otro, este último aportará muy poco al nivel total, quedando prácticamente oculto.

Otro gráfico no menos importante es el de la figura 69 mediante el cual podemos determinar en cuánto ha variado el *nivel* de intensidad de un sonido cuando se aumenta la intensidad del mismo en un valor dado. Supongamos, por ejemplo, que queremos duplicar la sonoridad (intensidad sonora subjetiva) de un sonido de 40 c/s que tiene un nivel de 80 dB. Comenzaremos con las curvas isofónicas, las que nos informarán que un sonido de este tipo representa 60 phon de sonoridad. El siguiente tiempo consistirá en la conversión de los 60 phon en unidades de sonoridad, cosa que se hará con el gráfico de la figura 67. El resultado es 4000 unidades. Puesto que queremos duplicar la sonoridad, o sea llevar la misma a 8000 unidades, pasaremos a establecer cuantos phons corresponden a este valor, acudiendo

nuevamente al gráfico de la figura 67, que nos indicará que el tal valor es de 70 phon. Si ahora volvemos a las curvas isofónicas comprobaremos que el nuevo nivel de sonoridad de 70 phon implica un aumento de 5 dB en la intensidad del sonido de la nota de 40 c/s. De acuerdo con la curva de la figura 69 este aumento de 5 dB representa una intensidad sonora 3,16 veces mayor que la primitiva. En una palabra, la intensidad sonora primitiva era de 10^{-8} W/cm^2, ahora será de $10^{-8} \times 3{,}16$ W/cm^2. En realidad, el gráfico de la figura 69 no es más que la aplicación de la fórmula ya estudiada:

$$n = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Como complemento del gráfico de la figura 68 presentamos la tabla XXXV que nos permite obtener una exactitud mucho mayor en los resultados. Esta tabla ha sido obtenida mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$W\ (= P_1 + P_2) = 10 \log_{10} (1 + 10^{Q/10})$$

pero tendrá que tenerse en cuenta que el resultado suministra la cantidad que deberá agregarse al nivel *menor* de los dos niveles de intensidad sonora que se desean sumar.

Ejemplo I: sean los niveles + 47 dB y + 43 dB. La diferencia Q será igual a 4. Consultando la columna Q vemos que a $Q = 4$ corresponde $P = 5{,}455$ que es el valor que debe sumarse al nivel menor. Luego:

$$W = 43 + 5{,}455 = 48{,}455 \text{ dB}$$

Valor que coincide con el suministrado en la curva de la figura 68 salvo que con ésta se obtendrá la cantidad 1,455 dB, que deberá sumarse al nivel *mayor*.

Ejemplo II: sean — 47 dB y — 43 dB. La diferencia Q será igual a $-43-(-47) = 4$. Para $Q = 4$ corresponde $P = 5{,}455$. Este valor se sumará algebraicamente al nivel menor (— 47):

$$W = -47 + 5{,}455 = -41{,}545 \text{ dB}$$

Ejemplo III: sean 4 niveles: — 51, — 47, — 46 y — 43 dB. Primero se combinarán — 51 y — 47, luego — 46 y — 43.

1) $Q = -51 - (-47) = 4$; $P = 5{,}455$.
   $W = -51 + 5{,}455 = -45{,}545$ dB

2) $Q = -46 - (-43) = 3$; $P = 4{,}764$.
   $W = -46 + 4{,}764 = -41{,}236$ dB.

3) $Q = -45{,}545 - (-41{,}236) = 4{,}309$; $P = 5{,}677$.
   $W = -45{,}545 + 5{,}677 = 39{,}868$ dB.

TABLA XXXV

SUMA DE NIVELES DE INTENSIDAD SONORA

Q	P	Δ	Q	P	Δ	Q	P	Δ	Q	P	Δ
0,0	3,010	0,050	5,0	6,193	0,076	10,0	10,414	0,091	15,0	15,135	0,097
0,1	3,060	0,051	5,1	6,269	0,077	10,1	10,505	0,091	15,1	15,232	0,097
0,2	3,111	0,052	5,2	6,346	0,077	10,2	10,596	0,091	15,2	15,329	0,097
0,3	3,163	0,052	5,3	6,423	0,078	10,3	10,687	0,092	15,3	15,426	0,098
0,4	3,215	0,054	5,4	6,501	0,077	10,4	10,779	0,092	15,4	15,524	0,097
0,5	3,267	0,054	5,5	6,578	0,079	10,5	10,871	0,092	15,5	15,621	0,097
0,6	3,321	0,053	5,6	6,657	0,078	10,6	10,963	0,092	15,6	15,718	0,097
0,7	3,374	0,055	5,7	6,735	0,079	10,7	11,055	0,092	15,7	15,815	0,098
0,8	3,429	0,055	5,8	6,814	0,080	10,8	11,147	0,092	15,8	15,913	0,097
0,9	3,484	0,055	5,9	6,894	0,079	10,9	11,239	0,093	15,9	16,010	0,098
1,0	3,539		6,0	6,973		11,0	11,332		16,0	16,108	
1,0	3,539	0,056	6,0	6,973	0,080	11,0	11,332	0,093	16,0	16,108	0,097
1,1	3,595	0,057	6,1	7,053	0,081	11,1	11,425	0,093	16,1	16,205	0,098
1,2	3,652	0,057	6,2	7,134	0,081	11,2	11,518	0,093	16,2	16,303	0,098
1,3	3,709	0,057	6,3	7,215	0,081	11,3	11,611	0,093	16,3	16,401	0,097
1,4	3,766	0,059	6,4	7,296	0,081	11,4	11,704	0,093	16,4	16,498	0,098
1,5	3,825	0,058	6,5	7,377	0,082	11,5	11,797	0,093	16,5	16,596	0,098
1,6	3,883	0,060	6,6	7,459	0,082	11,6	11,890	0,094	16,6	16,694	0,098
1,7	3,943	0,060	6,7	7,541	0,083	11,7	11,984	0,094	16,7	16,792	0,098
1,8	4,003	0,060	6,8	7,624	0,083	11,8	12,078	0,094	16,8	16,890	0,098
1,9	4,063	0,061	6,9	7,707	0,083	11,9	12,172	0,094	16,9	16,988	0,098
2,0	4,124		7,0	7,790		12,0	12,266		17,0	17,086	
2,0	4,124	0,062	7,0	7,790	0,084	12,0	12,266	0,094	17,0	17,086	0,098
2,1	4,186	0,062	7,1	7,874	0,083	12,1	12,360	0,094	17,1	17,184	0,098
2,2	4,248	0,063	7,2	7,957	0,085	12,2	12,454	0,094	17,2	17,282	0,098
2,3	4,311	0,063	7,3	8,042	0,084	12,3	12,548	0,095	17,3	17,380	0,098
2,4	4,374	0,064	7,4	8,126	0,085	12,4	12,643	0,095	17,4	17,478	0,099
2,5	4,438	0,064	7,5	8,211	0,085	12,5	12,738	0,094	17,5	17,577	0,098
2,6	4,502	0,065	7,6	8,296	0,085	12,6	12,832	0,095	17,6	17,675	0,098
2,7	4,567	0,065	7,7	8,381	0,086	12,7	12,927	0,095	17,7	17,773	0,098
2,8	4,632	0,066	7,8	8,467	0,086	12,8	13,022	0,095	17,8	17,871	0,099
2,9	4,698	0,066	7,9	8,553	0,086	12,9	13,177	0,095	17,9	17,970	0,098
3,0	4,764		8,0	8,639		13,0	13,212		18,0	18,068	
3,0	4,764	0,067	8,0	8,639	0,086	13,0	13,212	0,096	18,0	18,068	0,099
3,1	4,831	0,068	8,1	8,725	0,087	13,1	13,308	0,095	18,1	18,167	0,098
3,2	4,899	0,068	8,2	8,812	0,087	13,2	13,403	0,096	18,2	18,265	0,099
3,3	4,967	0,068	8,3	8,899	0,087	13,3	13,499	0,095	18,3	18,364	0,098
3,4	5,035	0,069	8,4	8,986	0,088	13,4	13,594	0,096	18,4	18,462	0,099
3,5	5,104	0,069	8,5	9,074	0,088	13,5	13,690	0,096	18,5	18,561	0,099
3,6	5,173	0,070	8,6	9,162	0,088	13,6	13,786	0,095	18,6	18,660	0,098
3,7	5,243	0,070	8,7	9,250	0,088	13,7	13,881	0,096	18,7	18,758	0,099
3,8	5,313	0,071	8,8	9,338	0,088	13,8	13,977	0,096	18,8	18,857	0,099
3,9	5,384	0,071	8,9	9,426	0,089	13,9	14,073	0,097	18,9	18,956	0,098
4,0	5,455		9,0	9,515		14,0	14,170		19,0	19,054	
4,0	5,455	0,072	9,0	9,515	0,089	14,0	14,170	0,096	19,0	19,054	0,099
4,1	5,527	0,072	9,1	9,604	0,098	14,1	14,266	0,096	19,1	19,153	0,099
4,2	5,599	0,073	9,2	9,693	0,089	14,2	14,362	0,096	19,2	19,252	0,099
4,3	5,672	0,073	9,3	9,782	0,090	14,3	14,458	0,097	19,3	19,351	0,099
4,4	5,745	0,074	9,4	9,872	0,090	14,4	14,555	0,096	19,4	19,450	0,098
4,5	5,819	0,074	9,5	9,962	0,090	14,5	14,651	0,097	19,5	19,548	0,099
4,6	5,893	0,074	9,6	10,052	0,090	14,6	14,748	0,097	19,6	19,647	0,099
4,7	5,967	0,075	9,7	10,142	0,091	14,7	14,845	0,097	19,7	19,746	0,099
4,8	6,042	0,076	9,8	10,233	0,090	14,8	14,942	0,096	19,8	19,845	0,099
4,9	6,118	0,075	9,9	10,323	0,091	14,9	15,038	0,097	19,9	19,944	0,099
5,0	6,193		10,0	10,414		15,0	15,135		20,0	20,043	

Ejemplo IV: sean + 5 y — 10 dB.

$Q = 5 - (-10) = 15.$

$P = 15{,}135.$

$W = 15{,}135 - 10 = 5{,}135$ dB.

8) Efecto de los ruidos sobre la audición. — Las curvas de contornos de igual sonoridad de Fletcher y Munson, sólo pueden aplicarse al caso de un sistema ideal, con el oyente colocado en un sitio absolutamente silencioso. Esta condición se obtiene sólo raras veces, motivo por el cual los valores

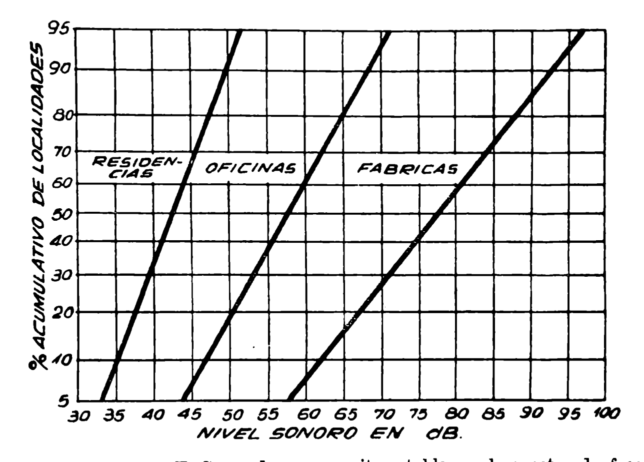


Fig. 70. — Gráfico de D. F. Seacord, que permite establecer el espectro de frecuencias de los ruidos.

mínimos que hemos presentado son válidos para condiciones de audición especialmente elegidas. Para el caso de un amplificador práctico, debe tenerse en cuenta, además, el efecto del ruido de la sala sobre la reproducción del sonido. En la tabla XXXVI se exponen los niveles de ruidos medidos en diversos lugares, expresados en decibeles, por sobre el nivel mínimo de audibilidad. El promedio del nivel de ruidos en una sala familiar es de unos 43 dB.

Partiendo del gráfico de la figura 70 (trazado por D. F. Seacord), *Fletcher y Hoth* han establecido el espectro de frecuencias de esos ruidos, en una sala con un nivel de disturbios de 43 dB. Los resultados de estas experiencias se exponen en la figura 71. El efecto de los ruidos sobre los contornos isofónicos se exponen en la figura 72 (efecto que se conoce con el nombre de "enmascaramiento"), siendo M la diferencia entre el umbral de audibilidad

en presencia de los ruidos y en un lugar silencioso; dB es el nivel de ruidos. Por último, partiendo de estos tres gráficos, puede deducirse la curva de

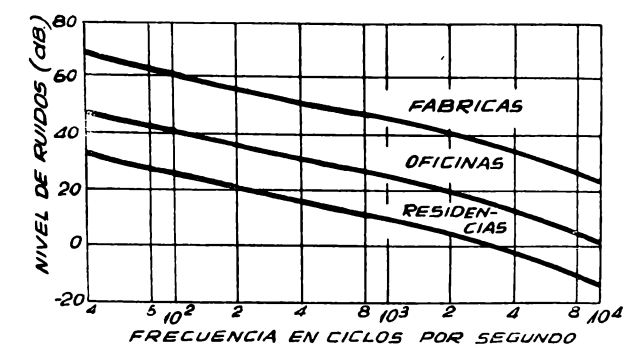


Fig. 71. — Resultados del estudio del gráfico anterior, que permiten determinar el nivel de ruidos en decibeles, en función de la frecuencia, en c/s.

enmascaramiento. Así, para un nivel de 20 dB a 200 ciclos, en una residencia familiar, el nivel de enmascaramiento será de 12 dB. Todo esto se ha

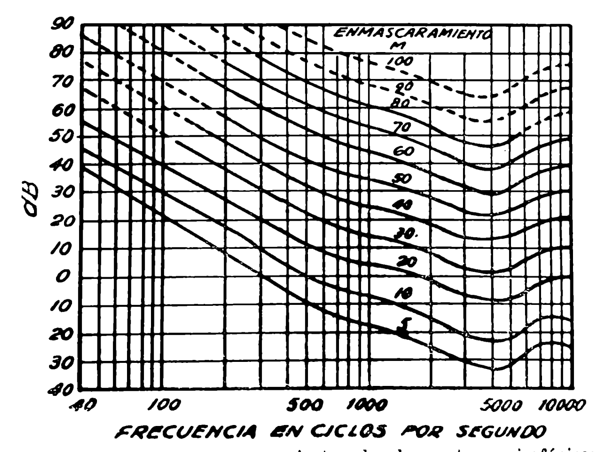


Fig. 72. — Efecto de enmascaramiento sobre los contornos isofónicos.

reunido en las curvas de la figura 73 (según Fletcher), que suministran el valor del nuevo nivel mínimo de audibilidad en presencia de ruidos, cono-

ciendo la frecuencia, el nivel de intensidad de los ruidos (en dB) y el tipo de ambiente. Así, por ejemplo, el nivel mínimo de audibilidad para los 200 c/s, en un ambiente completamente silencioso, es según las curvas isofónicas de (+ 23) dB. En presencia de ruidos este nivel se eleva a + 35 dB, como puede deducirse del estudio de la curva de la figura 73. Esto es obvio puesto que, según el gráfico de la figura 72 ya hemos visto que el enmascaramiento a la frecuencia de 200 c/s, en un ambiente residencial, es de (+ 12) dB.

Otra comprobación interesante es que el nivel de zumbido de 50 c/s en el amplificador de audio para el hogar, debe mantenerse por debajo de los

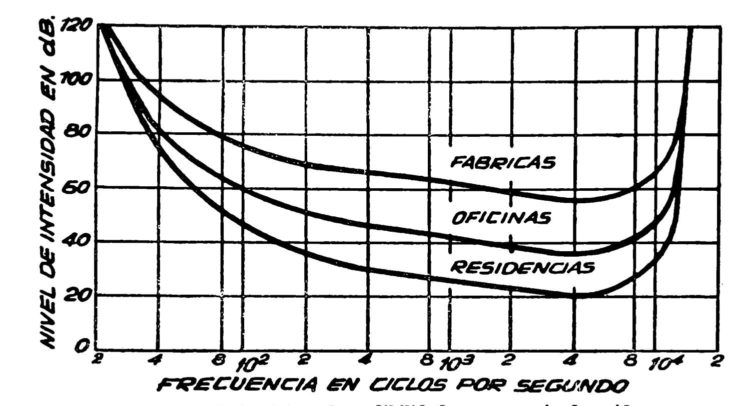


Fig. 73. — Nivel mínimo de audibilidad en presencia de ruidos.

68 dB, que es el nivel mínimo de audibilidad correspondiente a esa frecuencia, en presencia de ruidos. La componente de 100 c/s no debe pasar de unos 45 dB, en el mismo ambiente. Por el contrario, en un ambiente ideal, sin ruidos, el nivel de zumbido de 50 c/s debe estar por debajo de los 52 dB y el de 100 c/s por debajo de los 38 dB.

Ahora bien, considerando el caso de la ejecución de conciertos de música como la de *Wagner*, donde la dinámica (relación entre el nivel máximo y mínimo, o sea entre *fortísimo* y *pianísimo*) es de 85 dB, y recordando que las crestas de reproducción llegan a los 100 dB, tendremos para los *pianísimo* un nivel de 22 dB, valor que cae dentro de la zona de enmascaramiento, que se eleva, tal como lo hemos visto, a + 43 dB en un ambiente residencial medio. Como para escuchar un "*pianísimo*" se necesitan alrededor de 10 dB por encima del nivel de ruidos, un simple cálculo nos demuestra que debemos entregar al parlante una potencia eléctrica tal que suministre un nivel de intensidad sonora de 53 dB durante los *pianísimo*. Si tratamos de respetar la gama dinámica total, tendremos que suministrar, en los *fortísimo*

un nivel de $53 + 85 = 138$ dB, que es, un valor completamente impracticable y que demuestra como en las condiciones comunes el nivel de ruidos impide obtener una dinámica adecuada.

TABLA XXXVI

ESCALA CONVENCIONAL DE LAS SENSACIONES ACUSTICAS

Recinto	Intensidad sonora (dB)	Ruidos típicos
Puesto del piloto en el avión .	120	....Límite de sensación
Local de la rotativa de un diario	110	....Motor de aviación a 3 metros de distancia
Compartimiento de un tren subterráneo	100	....Tren en plena marcha, a 4 metros de distancia
Oficina comercial con muchas máquinas de escribir	80	....Bocina de automóvil a 6 metros
Restaurant muy concurrido .	70	....Calle céntrica de mucho tránsito
Local con conversaciones muy animadas	60	....Conversación en alta voz
Despacho común en un edificio céntrico..................	50	....Calle tranquila
Habitación de una casa en la periferia	40	....Conversación en voz baja
	30	....Cuchicheo a 20 metros
	20	....Calle tranquila de los suburbios
	10	....Murmullo de follaje
	0	....Límite de audibilidad

9) Medición del nivel de intesidades de sonidos complejos. — Si bien tratándose de tonos puros es posible obtener resultados bastantes correctos, en cuanto a la correlación obtenida entre las indicaciones del instrumento y la respuesta del oído se refiere, empleando el procedimiento estudiado más atrás, ya no sucede lo mismo cuando se trata de la medición de sonidos complejos. Se debe esto a que el medidor de nivel de intensidad sonora no señala el nivel de intensidad de cada frecuencia por separado, sino el nivel total del sonido. Este problema es solucionado mediante la inserción de la red de compensación en el medidor de intensidad sonora. Acerca de estas redes reproduciremos las consideraciones efectuadas por *S. Bennon* (El ingeniero Westinghouse, Sept. 1949), que suministra una idea bastante completa de la complejidad del problema.

Sin la red de compensación, el valor indicado por el medidor dependería únicamente de la presión o intensidad del sonido, independientemente de la frecuencia. Por ello, para obtener en el medidor una indicación equivalente a la respuesta del oído, se "compensa" la frecuencia de los componentes del sonido complejo y, como punto de referencia, se toma la frecuencia de 1000 c/s. Así, pues, una nota de 68 dB a 50 ciclos (que produce en el oído la misma

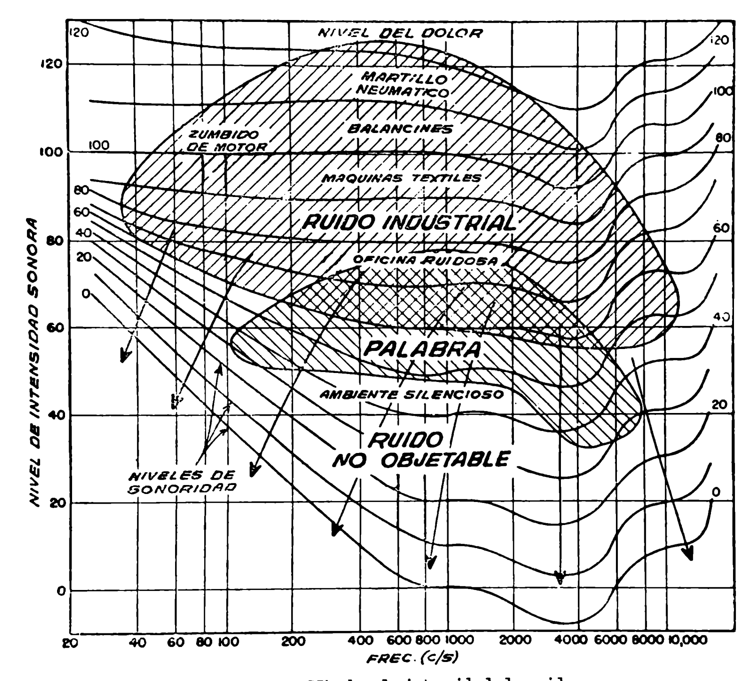


Fig. 74. — Niveles de intensidad de ruidos.

sonoridad que una de 30 dB a 1000 c/s), debe ser reducida en intensidad de 68 a 30 dB, es decir, compensada en —3 dB. Sin la red de compensación, el valor indicado por el medidor sería más de dos veces más alto para un sonido de 6 dB que para uno de 30 dB, cualquiera que fuera la frecuencia, lo cual difiere de la respuesta del oído.

La compensación o corrección necesaria varía en proporción con la respuesta del oído, según la frecuencia y el nivel de intensidad de cada componente de un sonido complejo. Por lo tanto, una nota de 68 dB a 50 c/s debe ser reducida en 38 dB, en tanto que una de 126 dB a 50 c/s sólo requiere

una reducción de 6 dB y una de 68 dB a 160 c/s debe ser reducida en 8 dB. Si la red de compensación hiciera esas correcciones con exactitud para todas las frecuencias e intensidades, el medidor indicaría el nivel de sonoridad exacto de un tono puro en phon, pero tales correcciónes exigirían un número infinito de redes.

Para solucionar esta situación, es que la *American Standards Association* (ASA) ha adoptado dos circuitos, con las redes de compensación "A" y "B", que atenúan las diferentes frecuencias en la forma como se indica en la figura 75. Las curvas de compensación representan aproximaciones de los contornos de igual sonoridad de 40 y 70 phon de las curvas de Fletcher

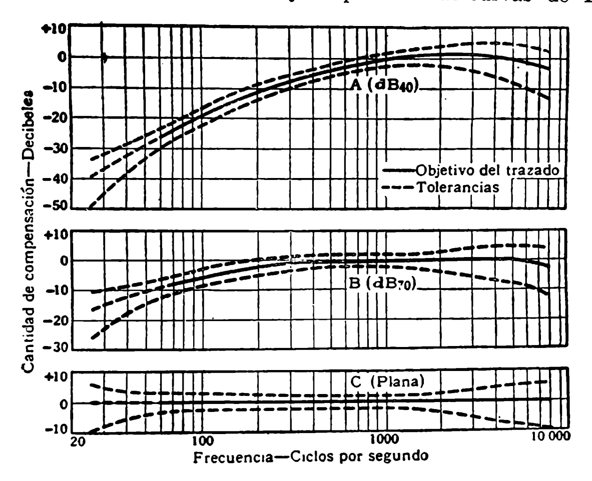


Fig. 75. — Redes de compensación adoptadas por ASA.

y Munson, con las tolerancias de fabricación indicadas por las líneas de puntos. La curva *C* representa la red uniforme o plana del medidor, y es la que suministra el mínimo de compensación. Los tonos puros pueden medirse en el circuito plano y, luego, efectuar la "compensación" para la correlación con la respuesta del oído mediante las curvas de las figuras 66 y 67, tal como lo hemos visto. El circuito *C* puede utilizarse para la medición de niveles de 80 a 100 dB, debido a que a estos niveles gran parte del contorno obtenido es prácticamente plano.

La identificación de las diferentes redes de compensación se efectúa mediante los siguientes símbolos: dB_{40}, dB_{70}, plana.

Interesante es saber que los medidores de nivel de intensidad sonora efectúan, automáticamente, la adición de los niveles de dos sonidos que se producen simultáneamente.

En la figura 76 se expone la vista exterior de un medidor comercial de intensidad sonora. En la figura 77 se muestra un tipo moderno, de "bolsillo", siendo su circuito básico el que se expone en la figura 78.

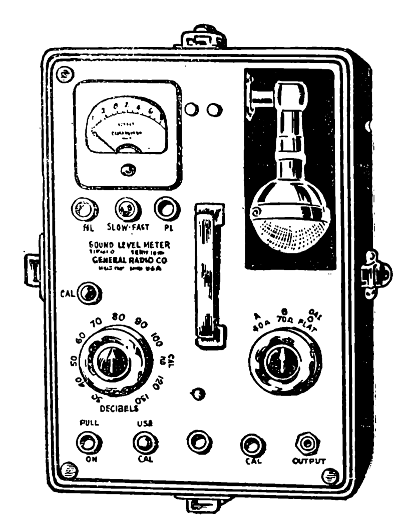


Fig. 76. — Vista exterior de un medidor de intensidad sonora.

Fig. 77. — Medidor de intensidad sonora, tipo de "bolsillo".

10) El analizador de espectro de ruidos. — Las modernas investigaciones en el campo de las mediciones de ruidos han demostrado la necesidad de que el análisis se extienda al espectro o composición de frecuencia de los ruidos.

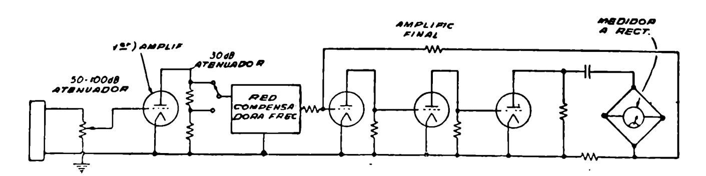


Fig. 78. — Circuito del medidor de intensidad sonora, de "bolsillo".

Ciertos problemas, que requieren el cálculo de la sonoridad de la interferencia de los ruidos sobre la palabra, el uso de las mediciones de los ruidos para establecer fallas de funcionamiento en las máquinas, o bien la identificación

de fuentes de ruidos para ayudar a silenciar, pueden resolverse mejor utilizando analizadores con los medidores de nivel de sonido.

Los niveles totales de sonido, por sí solos, constituyen una indicación inadecuada del efecto de los ruidos complejos en el mecanismo de audición y en la habilidad de la gente para conversar. La mayor parte de los sonidos de tipo complejo impresionan al oyente como si interfiriesen con su conversación y audición solamente cuando la intensidad del ruido es elevada en el rango de frecuencia entre 500 y 5000 c/s. Estudios similares efectuados en los aviadores y fabricantes de calderas, durante la investigaciones de sor-

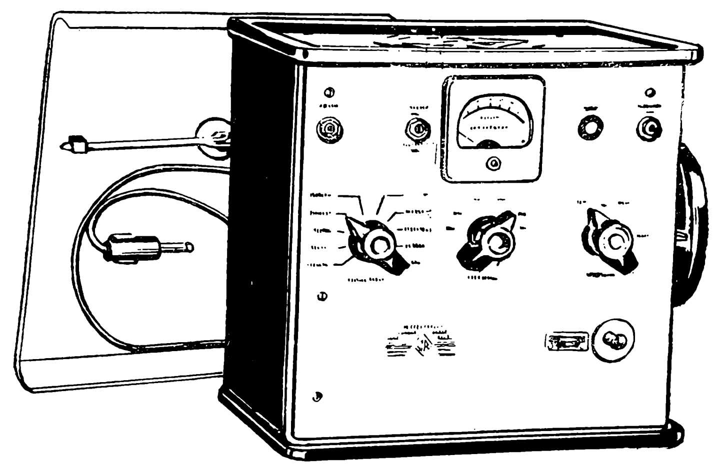


Fig. 79. — Analizador de ruidos tipo de "ocho bandas".

deras, han revelado que los sonidos en este rango de frecuencias son los que producen los mayores daños.

En los edificios, por su parte, los ruidos que han atravesado paredes y divisiones carecen, en su mayor parte, de las componentes de frecuencia mayores. Los efectos inconvenientes de estos sonidos deben ser juzgados frecuentemente por la intensidad en el rango de frecuencias por debajo de 1000 c/s.

El ingeniero en sonido requiere más información que el simple nivel de ruidos, para una mejor elección de los materiales acústicos. Asimismo, debe estar en condiciones de conocer el espectro de los ruidos en los vehículos, si debe separar un tipo de ruido de otro; por ejemplo, para separar los ruidos debidos al viento de los producidos por el motor.

Estos ejemplos muestran la necesidad de conocer la distribución de las intensidades de un ruido complejo, en función de la frecuencia. Un tipo de

instrumento que permite obtener esto es el analizador de sonidos *General Radio* (Tipo 760 — B), que posee un ancho de banda efectivo de algo más del 3 %, siendo ajustable continuamente en frecuencia y dividiendo el espectro de frecuencias entre 25 y 7500 en 180 bandas separadas, en cada una de las cuales puede determinarse la intensidad del ruido.

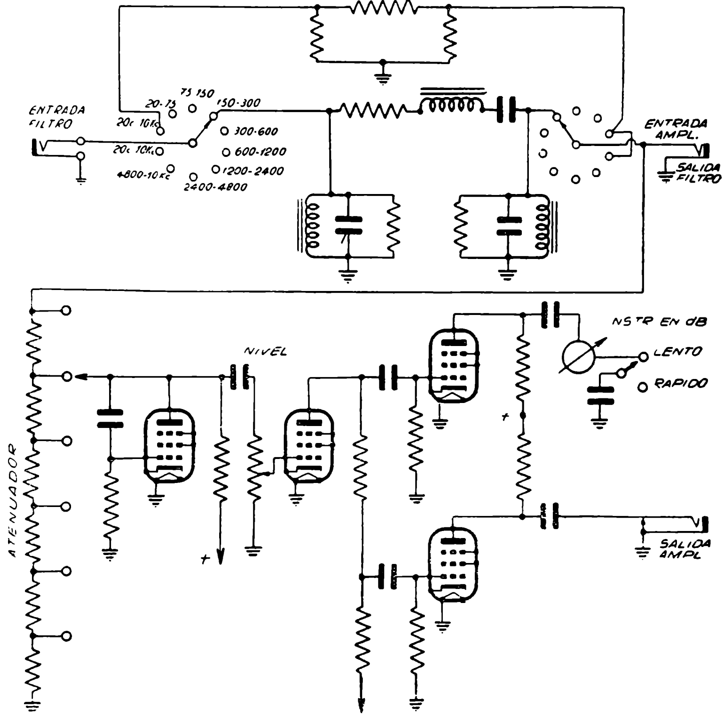


Fig. 80. — Circuito del analizador de ruidos de la figura anterior.

En la mayor parte de los casos, sin embargo, no se requieren tantos detalles como los que proporciona este instrumento, de 180 bandas, motivo por el cual ha hecho su aparición el Analizador de ruidos de ocho bandas (Octave-Band Noise Analyser) que divide el rango de frecuencias desde 20 a 10.000 c/s en ocho bandas de una octava cada una. Este instrumento puede verse en su aspecto exterior en la figura 79, en tanto que su circuito esquemático se expone en la figura 80. Además del conjunto de filtros, consta de un amplificador, un instrumento indicador y una fuente

portatil a baterías. Este conjunto puede conectarse a la salida de un medidor de nivel de sonido, de un grabador magnético o cualquier fuente de señal de audiofrecuencia. Las características típicas del filtro pueden apreciarse en la figura 81, siendo las frecuencias de corte las siguientes:

20 c/s	—	75 c/s	(pasa-bajos)
75 "	—	150 "	
150 "	—	300 "	
300 "	—	600 "	
600 "	—	1200 "	
1200 "	—	2400 "	
2400 "	—	4800 "	
4800 "	—	10.000 "	(pasa-altos)

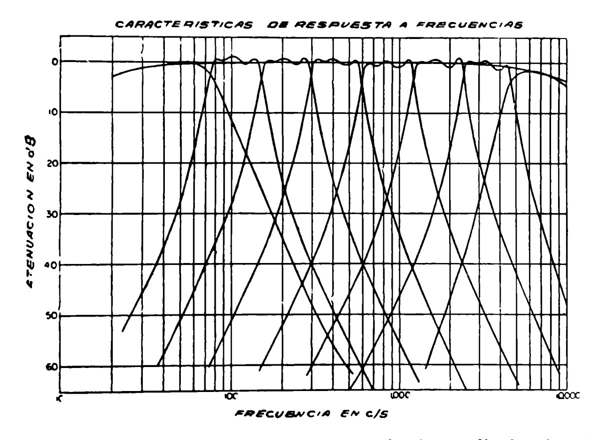


Fig. 81. — Características típicas del filtro del circuito analizador de ruidos.

Las seis bandas medias tienen un ancho de una octava, y las otras dos son filtros pasa-bajos y pasa-altos. Las secciones de paso de banda tienen un régimen inicial de atenuación, más allá del corte, de alrededor de 50 decibeles por octava de frecuencia. Este elevado régimen inicial es importante cuando los ruidos medidos poseen niveles de energía que cambian rápidamente con la frecuencia. El filtro está aislado por una red resistiva, que hace a las características del filtro esencialmente independientes de la fuente utilizada para alimentar al analizador.

El atenuador, el amplificador y el instrumento indicador permiten efectuar mediciones en niveles sobre un rango de alrededor de 60 dB. El atenuador está calibrado en pasos de 10 dB desde 0 a 50 dB y el instrumento suministra un alcance desde (— 6) a (+ 10) dB. El amplificador compensa la pérdida de inserción de los filtros de paso de banda y suministra más

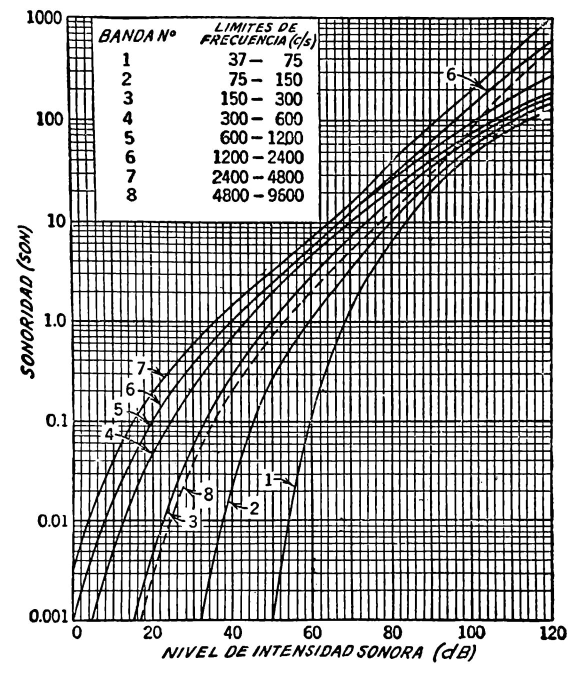


Fig. 82. — Gráfico para la conversión de niveles de bandas de octavas en decibeles a sonoridad (en son). Este gráfico se aplica solamente para espectro continuo de ruidos.

de 50 dB de ganancia adicional. Se suministra un nivel de control para llevar la ganancia del amplificador al valor deseado.

La sonoridad total de un espectro continuo de ruidos de banda ancha, se determina sumando la sonoridad de cada banda.

En la fig. 82 se presenta un gráfico (según Beranek y Peterson) mediante el cual se determina la sonoridad (en son) para cada octava, en función del nivel de intensidad sonora.

Cuando se utilizan las curvas isofónicas y las de conversión de phon

a son para efectuar el análisis de bandas de octavas, las frecuencias de conversión de cada banda deberán ser las siguientes:

Bandas (c/s)	**Frecuencia (c/s)**
37,5- 75	50
75 - 150	100
150 - 300	200
300 - 600	400
600 -1200	800
1200 -2400	1600
2400 -4800	3150
4800 -9600	6300

CAPITULO VIII

ESCALAS LINEALES Y LOGARITMICAS

Ventajas y desventajas de las escalas lineales y logarítmicas — Ejemplos — Escalas deformadas.

1. Inconvenientes de la escala lineal.

Suponga el lector que hemos tomado un papel y que sobre él trazamos una línea recta de un metro de largo. Si tal recta la dividimos con marcas situadas a 10 cm de distancia, una de otra, comenzando la lectura con cero, y siguiendo con un aumento de una unidad por división, tendremos trazado lo que se denomina una *escala lineal,* siendo la progresión del tipo "aritmética" de razón igual a la unidad. En una palabra, cualquier valor de esta escala es igual al anterior sumándole la unidad.

Bien, tratemos de representar, sobre una escala de este tipo, la curva característica de respuesta a frecuencias de un amplificador de audio. Para ello, sobre la abscisa de nuestro gráfico, trazado en la forma más arriba indicada, se anotarán los valores de frecuencia, desde los 20 c/s hasta los 15.000 c/s, pudiéndose variar las frecuencias extremas de acuerdo con las necesidades particulares del caso.

Resulta evidente que una anotación de todas las frecuencias comprendidas entre los valores límites mencionados, implicaría una extensión desmesurada del gráfico, en el sentido horizontal. Es necesario, por lo tanto, efectuar una verdadera "compresión" de esta escala, para reducirla a dimensiones más cómodas. Pero aquí surge otro inconveniente serio; si efectuemos la compresión de la escala las lecturas se tornarán más dificultosas y casi indescifrables. Veamos cómo se soluciona el asunto.

2. La escala logarítmica.

La escala lineal no es la única que puede utilizarse en las representaciones gráficas. En efecto, en lugar de escribir, en las sucesivas divisiones 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 (progresión aritmética de razón igual a la unidad), podemos señalar las mismas en esta otra forma 1 - 10 - 100 - 1000 - 10.000 - 100.000 - 1.000.000 etc (progresión geométrica de razón igual a 10, donde cada término se obtiene *multiplicando* el inmediato anterior por diez), tal como se expone en la figura 83.

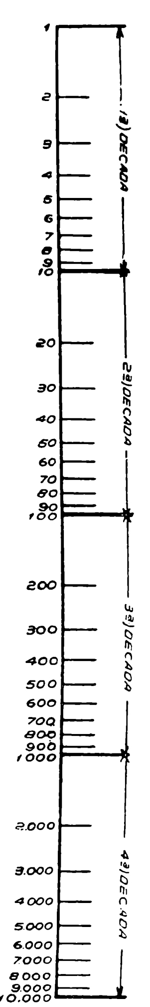


Fig. 83.—Escala lineal y escala logarítmica.

De inmediato puede verse como se ha logrado "comprimir" la escala, puesto que en tanto que antes las divisiones llegaban hasta 10, en la segunda escala, dentro del mismo espacio, se ha llegado a 10^{16}.

Esta nueva escala *comprimida* se conoce con el nombre de *escala logarítmica.*

Aparentemente, tal escala constituye un serio inconveniente, puesto que cada uno de los ciclos contiene distinto número de unidades. Así, el primer ciclo contiene 9 unidades, el segundo 90, el tercero 900 y así sucesivamente. Sin embargo, tal diferencia de compresión en cada ciclo no es más que aparente, puesto que, en realidad, existe la misma "compresión porcentual". En efecto, existirá la misma separación porcentual entre 4 y 5, en el primer ciclo, que entre 40 y 50 en el segundo, y entre 400 y 500 en el tercero. Esto se demuestra fácilmente, puesto que en el primer ciclo existen 9 unidades, de modo que la separación entre 4 y 5 es de $1/9 = 0{,}11$ o sea 11 %. En el segundo ciclo existen 90 unidades, de modo que la separación entre 40 y 50 es de $10/90 = 0{,}11$ igual que antes. Como vemos, la relación de compresión se mantiene en toda la escala. En tanto que en la escala lineal existe la misma distancia entre 10 y 20 (una relación del 100 %) que entre 100 y 110 (relación del 10 %), en la escala logartímica la compresión es idéntica en toda la escala, existiendo la misma distancia entre 10 y 20, que entre 100 y 200 o entre 50 y 100, puesto que en todos estos casos existe la misma relación del 100 %.

Dentro de cada uno de los ciclos de nuestro abscisa logarítmica habrá que efectuar subdivisiones, las que, desde luego, tambien tendrán que ser logarítmicas. El procedimiento a seguir es sumamente sencillo, puesto que sabemos que los logaritmos de 1 a 10 son los de la tabla XXXVII.

De acuerdo con esto, a partir del 1 de la escala, marcaremos divisiones espaciadas en la misma proporción indicada en la tabla anterior. Luego efectuaremos lo mismo a partir de 10 en la segunda década, de 100 en la tercera y así sucesivamente en cada década. Así, si cada década posee 10 cm de longitud, la primera década comenzará con 1 y la próxima división se colocará a 3,01 cm y se indicará con la cifra 2; la tercera división se dispondrá a 4,77 cm y se señalará con el número 3 y así sucesivamente. En la segunda década, que comienza con 10, la segunda división estará a 3,01 cm, pero se señalará con el número 20, la tercera división estará a 4,77 cm, pero se marcará 30 y así sucesivamente.

TABLA XXXVII

LOGARITMOS DE LOS NUMEROS 1 A 10

Número	Logaritmo
1	0
2	0,301
3	0,477
4	0,602
5	0,698
6	0,778
7	0,845
8	0,903
9	0,954
10	1,000

En el caso del trazado de una curva de respuesta a frecuencias de un amplificador, por ejemplo, como las frecuencias que interesan se extienden desde los 20 c/s a los 20.000 c/s, tendremos que emplear 4 décadas de la escala logarítmica; a saber primero hasta los 100 c/s; segundo de 100 a 1000 c/s; tercero de 1000 a 10.000 c/s; cuarto de 10.000 a 100.000 c/s. Si queremos otorgar al gráfico un ancho de 20 cm, por ejemplo, es claro que cada una de los ciclos tendrá una longitud de 5 cm y, por lo tanto, las divisiones deberán efectuarse a las siguientes distancias de sus correspondientes orígenes:

TABLA XXXVIII

DISTANCIAS ENTRE DIVISIONES EN LA ESCALA LOGARITMICA

Número	Distancia (cm)
1	0
2	0,301 × 5 = 1,5
3	0,477 × 5 = 2,38
4	0,602 × 5 = 3,11
5	0,698 × 5 = 3,49
6	0,778 × 5 = 3,89
7	0,845 × 5 = 4,22
8	0,903 × 5 = 4,61
9	0,954 × 5 = 4,77
10	1,000 × 5 = 5,00

Es interesante recordar, aquí, que en la misma forma se marcan las reglas de cálculo logarítmicas.

3. Ventajas y desventajas de la escala lineal y la escala logarítmica.

La escala lineal ofrece grandes ventajas cuando se desea representar valores *absolutos*, por ejemplo tensión de salida (a entrada constante) en función de la frecuencia. En cambio, la escala logarítmica es de valor inapreciable cuando hay que representar valores *relativos*, como es el caso de la relación entre la tensión de salida y la tensión de entrada (E_s/E_c) en función de la frecuencia, puesto que en la escala logarítmica, en cualquier punto de la misma, *iguales relaciones* son representadas por iguales distancias, en tanto que en la escala lineal, iguales distancias representan *iguales aumentos absolutos* (fig. 83).

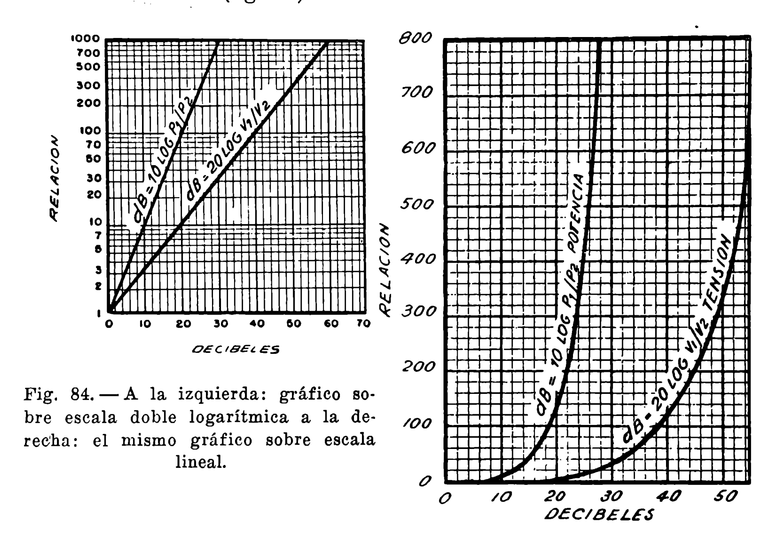


Fig. 84. — A la izquierda: gráfico sobre escala doble logarítmica a la derecha: el mismo gráfico sobre escala lineal.

El empleo de una escala logarítmica tiene otra ventaja más. Por ejemplo, si queremos representar la curva de respuesta del oído (intensidad sonora subjetiva) en función de la intensidad del sonido, puesto que tal respuesta no es lineal sino que sigue una ley logarítmica (ley de Weber-Fechner), su trazado sobre un papel con divisiones por progresión lineal, nos dará, como resultado, una curva característica sumamente compleja, difícil de trazar e interpretar. En cambio, si empleamos un papel gráfico con divisiones logarítmicas, el resultado será una línea recta, fácil de dibujar y que, además, nos permitirá apreciar inmediatamente cuando existe alguna alteración. Como conclusión, resulta sumamente interesante reproducir las atinadas observaciones de la *Jensen Co*, con respecto al trazado de curvas: "El propósito de un gráfico de respuesta a frecuencias, es poder juzgar, en forma

clara y sencilla, la curva de respuesta del equipo a las diversas frecuencias de audio aplicadas a la entrada. En el caso de tener que juzgar, por ejemplo, la curva de respuesta de un altoparlante, la escala vertical debe expresar la presión sonora, en decibeles, resultado de una entrada constante, a las frecuencias indicadas en la abscisa. Esta última es logarítmica, de modo que el espacio ocupado por una *octava* (por ejemplo: 100 - 200 c/s; 500 - 1000 c/s, etc.) *es el mismo* en todas las partes de la escala. Esta práctica permite que todos los valores de frecuencia sean expresados con la misma precisión, facilitando la interpretación y una apreciación rápida de la curva en sus diversas porciones. La figura 85 muestra la importancia de una adecuada

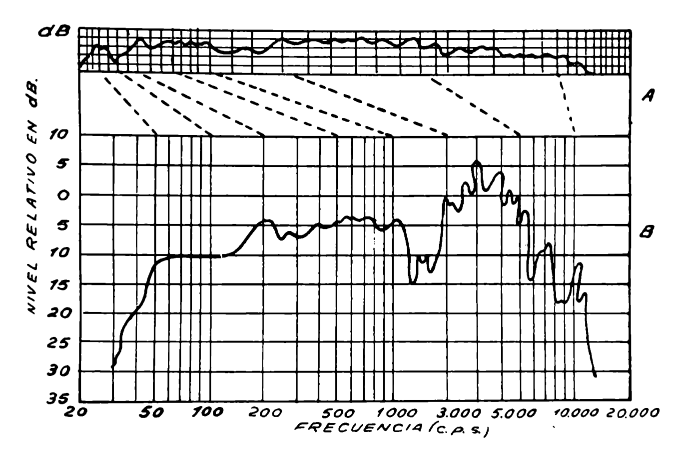


Fig. 85. — Ejemplo de escalas correcta e incorrectamente trazadas.

elección de las escalas. Así, la escala vertical deberá ser tal que permita al ojo reconocer el más pequeño incremento que sea perceptible para el oído. Se considera que tal cosa se logra si la distancia asignada a 1 dB en la escala, es igual a 1 ó 2 % de la longitud de la misma. En la figura 85, 1 dB equivale aproximadamente a 1,4 % de la escala, en tanto que en *A* de la misma figura, 1 dB representa solamente 0,2 %, comprimiendo, así, las variaciones a una séptima parte en comparación con la figura *B*. Además, la escala de frecuencias en *A* es marcadamente deformada, de modo que la octava más elevada es de alrededor de 7,5 veces el largo de la octava menor Esto, combinado con la compresión de la escala vertical, no sólo reduce la extensión de las variaciones, sino que hace desaparecer completamente la agudez de los picos en las secciones de medias y altas frecuencias. Esto debe tenerse muy en cuenta, en especial, cuando se efectúan comparaciones entre gráficos diferentes".

4. Ejemplos varios.

I) Otro ejemplo interesante acerca de la conveniencia de elegir, con sumo cuidado, entre el empleo de la escala lineal o de la escala logarítmica, es el siguiente: Supongamos que se desea trazar la curva de respuesta a frecuencias, pero a dos niveles distintos de ganancia (cuidando que ninguno de ellos sobrecargue a las grillas, dando lugar a corriente de reja). Supongamos, asimismo, que las dos curvas obtenidas han sido llevadas a un gráfico lineal, siendo el resultado el que se expone en la figura 86. En este gráfico se presenta en la ordenada la ganancia A, o sea la relación entre la tensión de entrada y de salida E_e/E_s. A simple vista, el lector no muy experimentado en la interpretación de curvas características, puede pensar que la curva (2) corresponde a una condición superior, puesto que es más plana que la curva (1). En realidad esto no es cierto, puesto que la pérdida

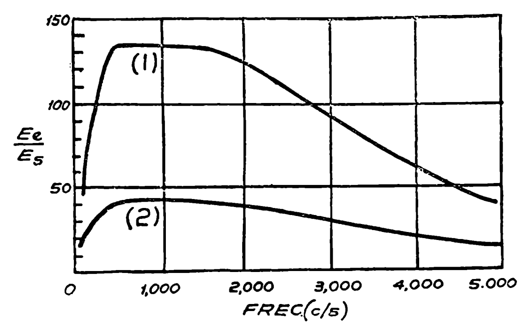


Fig. 86. — Curvas de respuesta a frecuencias trazadas a distintos niveles sobre escalas lineales.

relativa a todas las frecuencias es la misma. Otra cosa resultará si se emplea, en la ordenada, una escala logarítmica, en la cual la misma distancia representa idéntica relación de tensiones, ya sea a niveles altos o reducidos. En estas condiciones, el efecto de aumentar la ganancia total de un amplificador será desplazar su curva, pero sin alterar su forma. Lo incorrecto en la figura 86 es que una elevación desde 10 a 20 figure exactamente como un aumento de 100 a 110, tal como ya lo hemos afirmado más atrás. Empleando, para la ordenada, una escala de división logarítmica, donde el mismo porciento de aumento, en cualquier lugar de la escala, ocupe la misma distancia, se tendrán las curvas de la figura 87 donde se ve que las mismas son idénticas en su forma, difiriendo solamente en el nivel.

Puesto que en la ordenada de la figura 87 no se han señalado valores absolutos, sino relativos (ya que la ganancia representa, simplemente, una relación entre tensión de entrada y de salida), podemos convertir las indi-

caciones a la unidad decibel, que permite realizar operaciones con mucha más facilidad. En este caso, podemos emplear, para la ordenada, una escala lineal, puesto que el decibel, por su naturaleza logarítmica, suministra los

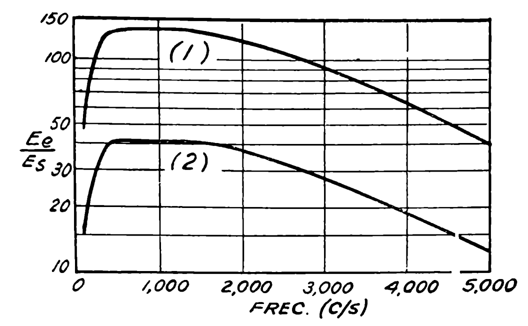


Fig. 87. — Las mismas curvas sobre abscisa lineal y ordenada logarítmica.

mismos resultados que empleando una escala de este tipo. Si, ahora, aplicamos a la abscisa, por las razones ya estudiadas, la escala logarítmica, tendremos convertido el gráfico de la figura 87 en el de la figura 88,

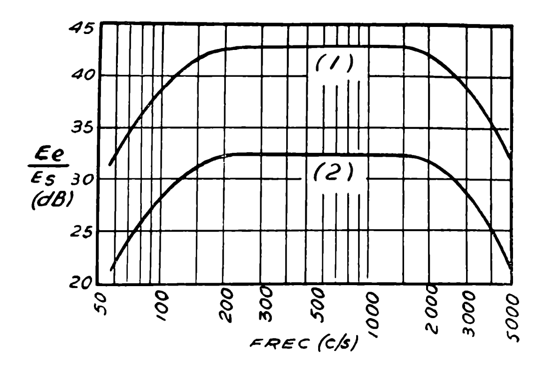


Fig. 88. — Las mismas curvas sobre escalas logarítmicas en abscisa y ordenada.

donde ambas curvas han sido expuestas en sus proporciones adecuadas en ambas dimensiones.

II) Para una mayor ilustración de lo que acabamos de exponer, recomendamos estudiar los cuatro gráficos expuestos en la figura 89 (The Philips

Technical Review, feb. 1937) que representan la *respuesta de un altoparlante en función de la frecuencia*. Las deducciones que se obtienen son las siguientes:

1) La comparación de (*B*) con (*A*) muestra que, en la escala lineal de frecuencia de la primera, la banda importante por debajo de 1 Kc/s está comprimida en un espacio insignificante, en tanto que la banda por arriba de los 5 Kc/s ocupa una porción injustificadamente grande.

2) La comparación de (*A*) con (*C*) ilustra el hecho de que, en la primera, con escala lineal de intensidad, el pico en 60 c/s aparece de mayor importancia que el valle en 1 Kc/s; la escala logarítmica de intensidad suministra una impresión de igual importancia en los dos casos.

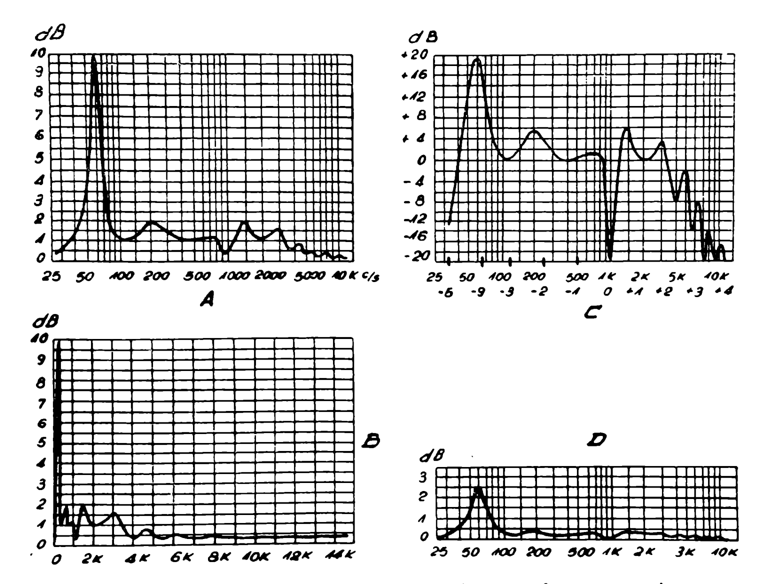


Fig. 89. — Una misma curva trazada en distintas escalas y proporciones.

3) La comparación entre (*A*) y (*B*) muestra que las curvas aparecen mucho más planas cuando las mediciones se toman usando niveles más bajos. Con la escala logarítmica de intensidades sonoras la forma es retenida. puesto que la curva está desplazada hacia abajo en una cierta distancia.

4) El rango de frecuencias e intensidades que puede incluirse satisfactoriamente en un solo diagrama, es casi ilimitado cuando se emplea la escala logarítmica, en contra de un alcance práctico de solamente 1:10 en la escala lineal.

III) Un ejemplo típico de la conveniencia de emplear la escala de divisiones logarítmicas es el trazado de las curvas de selectividad. Al efecto compárese la curva en cuestión obtenida con una oıdenada de divisiones logarítmicas (fig. 57) y la que suministraría el empleo de un papel milimetrado común (fig. 90). Este último gráfico resulta prácticamente inútil para nuestros fines, puesto que lo que en realidad nos interesa es la pendiente de los costados de la curva, bien visible en la figura 57 y prácticamente inalterada en la figura 90, debido a que la parte de mayor interés (desde *R* hacia el pico) ha sido concentrada en una pequeña porción.

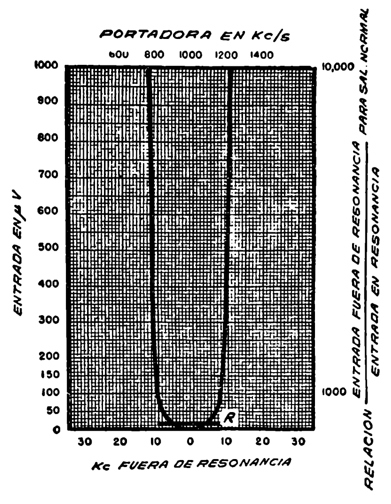


Fig. 90. — La comparación de este gráfico con el de la fig. 57 demuestra que este último es superior, puesto que permite estudiar mejor la porción de mayor interés (desde *R* hacia la cresta).

5. Desventajas de las escalas logarítmicas.

A pesar de sus grandes ventajas en la representación de valores relativos, así como de funciones logarítmicas, la escala logarítmica tiene su limitaciones, algunas de las cuales pueden resumirse así:

a) el primer ciclo comienza con (*1*) y no con cero, siendo por ello que no pueden señalarse valores negativos.

b) cuando el rango de valores es pequeño, el gráfico queda comprimido en un espacio sumamente pequeño.

6. Escalas deformadas.

Anteriormente hemos establecido que debe cuidarse mucho no deformar la escala logarítmica, puesto que ello puede dar lugar a falsas deducciones cuando se efectúan comparaciones entre gráficos distintos. Sin embargo, en ocasiones el proyectista puede desear trazar un gráfico que permita el cálculo de determinados elementos de un circuito. En este caso, puesto que no existe la intención de efectuar comparaciones con otros gráficos (como es el caso de la curva de respuesta a frecuencias de un parlante), puede resultar útil realizar una cierta deformación de la escala si es que con ello se facilita la lectura de valores y el trazado de curvas. Un ejemplo es el gráfico de la figura 91 (Attenuator Design, Norman H. Crowhurst, Radio-

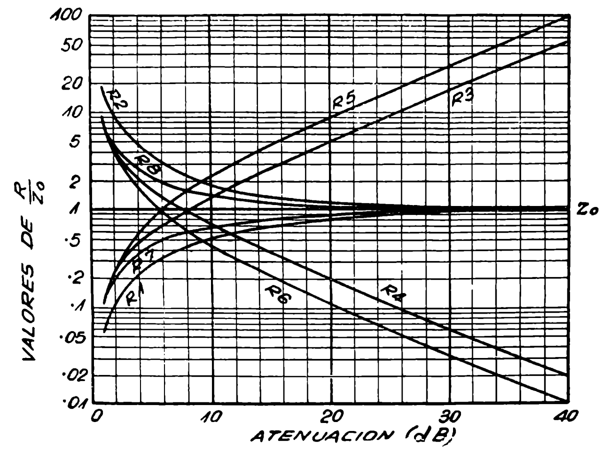


Fig. 91. — Determinación de la resistencia de un atenuador, en función de la atenuación.

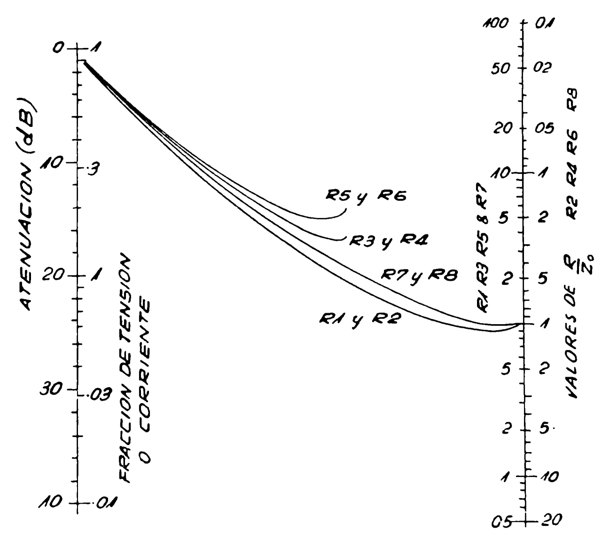


Fig. 92. — Nomograma que permite la misma determinación que el gráfico de la figura anterior.

Electronics, dic. 1953) que permite establecer el valor de cualquier resistencia de un circuito atenuador (ver pág. 208) en función de la atenuación requerida. Obsérvese que la abscisa, que es donde se han fijado los valores de atenuación, es de trazado lineal, puesto que los valores figuran en decibeles. En cambio, los valores de R se establecen sobre una escala logarít-

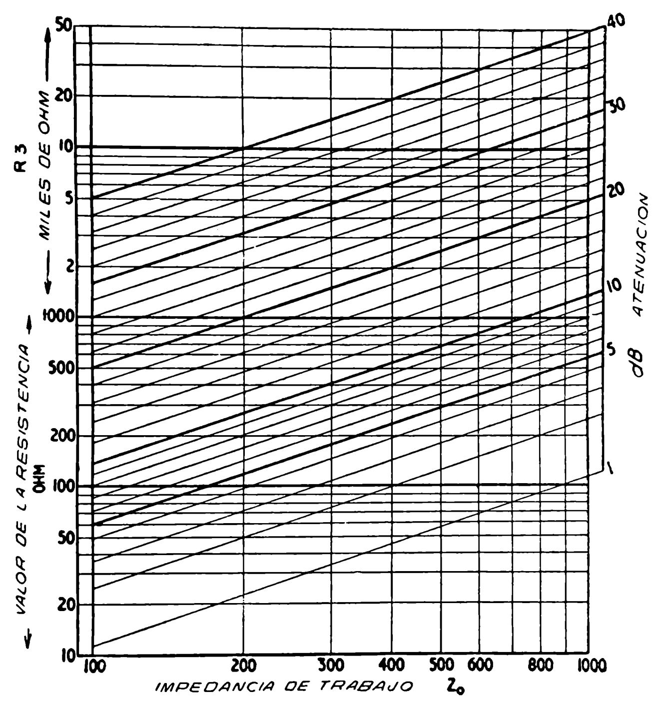


Fig. 93. — Sistema gráfico con escala de decibeles alterada o deformada.

mica, debido a que en realidad no son valores absolutos sino relativos (R/Z_0). En una palabra, la ordenada suministra un *factor*, por el cual habrá que multiplicar la impedancia Z_0 del circuito para obtener el resultado de R, en ohm. En lugar de utilizar un gráfico simple como el que acabamos de ver, puede apelarse a un "nomograma" como el de la figura 92 donde los resultados se obtienen mediante el apoyo del borde de una regla que corte horizontalmente a la escala de la izquierda (atenuación en dB) y a la curva de la resistencia de la que se desea conocer su valor. El resultado se

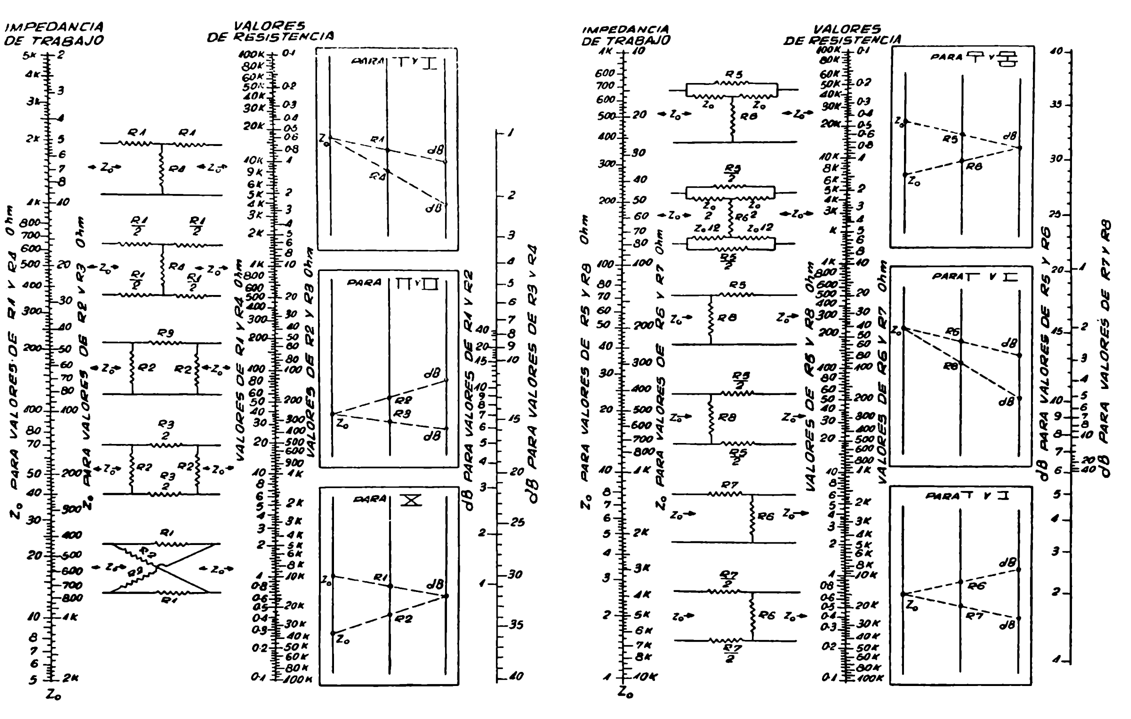


Fig. 94. — Sistema de nomograma que reduce el número de gráficos a sólo dos.

obtendrá en las correspondientes escalas de la derecha, pero siempre como relación (R/Z_0).

El sistema gráfico de la figura 93 es mucho más práctico que los dos presentados anteriormente. En efecto, la escala de decibeles, que debe ser lineal por las razones apuntadas, ha sido *alterada* ajustando adecuadamente la separación entre divisiones, con lo que las curvas se convierten en líneas rectas, facilitando el trazado de las mismas. Más aún, presentando los valores de impedancia de trabajo horizontalmente y los valores de resistencias verticalmente, un gráfico que emplee indicaciones de decibeles irregularmente espaciadas puede suministrar los valores de R del atenuador para la impedancia efectiva requerida. En el caso especial que estamos tratando el gráfico ha sido trazado para cubrir una escala de impedancias de trabajo desde 100 a 1000 ohm, y los valores se leen *directamente* para cualquier impedancia en este rango. Fuera del mismo sólo será necesario agregar o sacar algunas cifras. La desventaja de este sistema es que se necesita un gráfico para cada resistencia, cada uno de ellos con separaciones entre las indicaciones en decibeles en correlación con la fórmula particular de esa resistencia. Sin embargo, si empleamos el sistema de nomograma en lugar de gráfico simple, entonces el número puede reducirse a dos, tal como se expone en la figura 94.

CAPITULO IX

FORMULAS, TABLAS, GRAFICOS Y DATOS UTILES EN QUE INTERVIENE EL DECIBEL

I) *Pérdida en la tensión de salida producida por un cable conector excesivamente largo*:

$$dB = 20 \, Bg_{10} \left(\frac{1 + L \, C_L}{C_M} \right)$$

donde:

L = longitud del cable, en pies, (1 pie = 0,305 m)

C_L = capacitancia del cable en microfarads por pie, (1 pie = 0,305 m)

C_M = capacitancia del micrófono en microfarad.

II) *Respuesta de campo de un micrófono, a una frecuencia dada*:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{E}{p} \right)$$

donde E es la tensión en circuito abierto generada por el micrófono en sus terminales y p es la presión de sonido en dinas/cm^2, a un ángulo especificado con respecto al frente de onda.

III) El *nivel de grabación de los discos* puede especificarse en función de la velocidad a 1000 c/s, o bien decibeles con un nivel de referencia de 0 dB = 1 cm/seg de velocidad lateral eficaz de la púa. Las siguientes tablas están basadas en las anteriores consideraciones:

TABLA XXXIX

78 RPM — FRECUENCIA DE TRANSICION: 500 c/s

Nivel dB	Velocidad eficaz cm/seg	Amplitud de cresta milipulgada	Micrones
+ 10	3,16	0,56	14,2
+ 16	6,31	1,1	27'9
+ 18	7,94	1,4	35'5
+ 22	12,6	2,2	56'0
+ 26,8	22,0	3,8	96'5

TABLA XL

78 RPM — FRECUENCIA DE TRANSICION: 250 c/s

Nivel dB	Velocidad eficaz cm/seg	Amplitud de cresta milipulgada	Micrones
+ 10	3,16	1,1	27'9
+ 12	3,98	1,4	35'5
+ 15	5,62	2,0	51'8
+ 18	7,94	2,8	71'1

TABLA XLI

45 RPM —

Nivel dB	Velocidad eficaz cm/seg
+ 14,3	5,2
+ 22,9	14,0
+ 25,1	18,0

TABLA XLII

33 1/3 RPM

Nivel dB	Velocidad eficaz cm/seg
+ 7,5	5,2
+ 22,9	14,0

IV) Potencia acústica, en watt, necesaria para producir un nivel de intensidad sonora de 80 dB (0 dB = 0,0002 dinas/cm²), en función del volumen del auditorio para un tiempo de reverberación óptimo (según Olson):

TABLA XLIII

POTENCIA ACUSTICA PARA UN NIVEL SONORO DE 80 dB

Volumen m³ (pie³)	28 (1000 pie³)	56 (2000 pie³)	75 (3000 pie³)	103 (4000 pie³)
Nivel de intensidad dB	**Potencia acústica (watt)**			
55	51×10^{-7}	98×10^{-7}	14×10^{-6}	19×10^{-6}
60	16×10^{-6}	31×10^{-6}	45×10^{-6}	59×10^{-6}
65	51×10^{-6}	98×10^{-6}	14×10^{-5}	19×10^{-5}
70	16×10^{-5}	31×10^{-5}	45×10^{-5}	59×10^{-5}
75	51×10^{-5}	98×10^{-5}	14×10^{-4}	19×10^{-4}
80	16×10^{-4}	31×10^{-4}	45×10^{-4}	59×10^{-4}
90	16×10^{-3}	31×10^{-3}	45×10^{-3}	59×10^{-3}
100	16×10^{-2}	31×10^{-2}	45×10^{-2}	59×10^{-2}
110	16×10^{-1}	31×10^{-1}	45×10^{-1}	59×10^{-1}

V) Niveles de audición preferidos por los oyentes.

Según pruebas conducidas por la BBC con un medidor de nivel de intensidad sonora.

TABLA XLIV

NIVELES DE AUDICION PREFERIDOS (dB)

Programa	Público		Músicos	Ingenieros en sonido		Ingenieros
	Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres	
Música sinfónica	78	78	88	90	87	88
Música ligera	75	74	79	89	84	84
Música bailable	75	75	79	89	83	84
Palabra	71	71	74	84	77	80

NOTA: *Existen variaciones individuales desde 60 a 97 dB para la música sinfónica.*

VI) The Institute of Radio Engineers suministra las siguientes normas para *tensiones normales de entrada* para ciertas pruebas en receptores:

1) "Tensión de señal distante" cuyo valor se toma igual a 86 dB debajo de 1 volt, o sea 50 microvolt.
2) "tensión de señal media", cuyo valor se toma igual a 46 dB debajo de 1 volt, o sea 5000 microvolt.
3) "tensión de señal local", cuyo valor se toma igual a 20 dB debajo de 1 volt, o sea 100.000 microvolt.

4) "tensión de señal fuerte", cuyo valor se toma igual a 6 dB arriba de 1 volt, o sea 2 volt.

VII) Tabla de filtros de banda (fig. 95). Entre dos bobinados existe un acoplamiento óptimo K_0, igual a la inversa de su factor $Q = \omega L/R$. Según que K difiera más o menos de K_0 habrá o no alteraciones. Las pérdidas en decibeles están dadas en función del desacuerdo $d\omega$, en función del factor de amortiguamiento α.

$$\alpha = R/2L = \omega/2Q$$

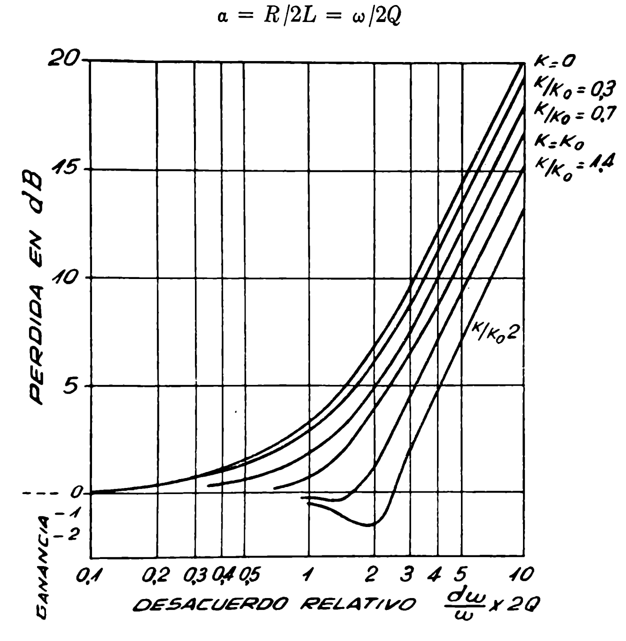


Fig. 95. — Pérdida (dB) en función del desacuerdo.

Ejemplo: un transformador de f. i. de 135 Kc/s cuyos arrollamientos poseen un $Q = 100$, debe tener una banda pasante de 6,75 a un lado y otro, a 14 dB. Establecer el acoplamiento y la pérdida a 2 Kc/s de apartamiento.

En la primera columna se elegirá la cifra 10. Ello da para 14 dB entre 1,4 y 2 para K/K_0. Tomemos 1,7. Luego $K_0 = Q = 0{,}01$, siendo el acoplamiento 1,7 %. El desacuerdo a 2 Kc/s corresponde en la primera columna a 2,9 suministrando una pérdida de 3 dB según la curva.

TABLA XLV

PERDIDAS (EN dB) EN FUNCION DEL DESACUERDO

Desacuerdo $d\omega = \omega/2Q$	$K/K_0 = 0$	$K/K_0 = 0,3$	$K/K_0 = 0,7$	$K/K_0 = 1$	$K/K_0 = 1,4$	$K/K_0 = 2$
0,1	0,1	0	0	0	15,5	— 0,1
0,2	0,2	0,1	0	0	— 0,1	— 0,2
0,4	0,6	0,5	0,2	0,1	— 0,2	— 0,4
0,7	1,8	1,5	0,6	0,3	— 0,2	— 0,5
1	2,1	1,9	1,2	0,6	— 0,4	— 0,7
1,5	5	4,6	3	2	0	— 1,6
2	7	6,6	5	3,8	+ 1,5	— 1,2
3	10	9,2	8	6,6	+ 4,4	+ 1,5
5	14,2	13,6	12,2	11	9	6,4
10	20	19,5	18,5	17	15,5	13

VIII) Conversión de decibeles a microsegundos.

TABLA XLVI

CONSTANTE DE TIEMPO vs dB

Ganancia o pérdida en decibeles	100 microsegundos	75 microsegundos	50 microsegundos	25 microsegundos
0	500	670	1000	2000
1	850	1130	1700	3400
2	1200	1600	2400	4800
3	1600	2150	3200	6400
4	2000	2700	4000	8000
5	2400	3200	4800	9600
6	2800	3700	5600	11200
7	3250	4300	6500	13000
8	3800	5100	7600	15200
9	4400	5900	8800	17600
10	5000	6700	10000	20000
11	5600	7500	11200	—
12	6300	8400	12600	—
13	7100	9500	14200	—
14	8000	10700	16000	—
15	9000	12000	18000	—
16	10000	13300	20000	—
17	11200	15000		
18	12600	16800		
19	14200	18900		
20	16000	—		

NOTA: *Los números en las columnas son frecuencias en c/s.*
Donde los valores han sido redondeados, el error no excede del 1 %.
Para hallar la frecuencia para otra constante de tiempo (T) multiplíquese el valor de la columna 100 microsegundos por 100/T.

IX) Conversión de relación de frecuencias en decibeles a decibeles/octava.

El régimen de atenuación o de refuerzo se expone, generalmente, en decibeles por octava. En la mayor parte de los casos el régimen de atenuación o refuerzo se expresa en múltiplos de 6 dB/octava (6, 12, 18 dB/octava) En ocasiones, las frecuencias a que se toman las lecturas no cubren un número exacto de octavas; en tales casos puede adoptarse el siguiente procedimiento:

TABLA XLVII

PARA CONVERTIR RELACION DE FRECUENCIAS EN dB A dB/OCTAVA

Relación de frecuencias	Multiplicar la relación de frecuencias en dB especificada por el siguiente factor para suministrar dB/octava
1,2 :1	6,02
1,25 :1	3,10
1,33 :1	2,43
1,5 :1	1,71
2 :1	1,00
3 :1	0,63
4 :1	0,50
5 :1	0,43
6 :1	0,39
7 :1	0,37
8 :1	0,33
10 :1	0,30

Ejemplo: Un cambio de 0,7 dB se produce cuando existe un aumento de frecuencia desde 1000 a 1250 c/s. ¿Cuál es el régimen de cambio en dB/octava?

Régimen de cambio = 0,7 × 3,10 = 2,17 dB/octava.

TABLA XLVIII

CONVERTIR dB/OCTAVA A RELACION DE FRECUENCIAS EXPRESADA EN dB

Relación de frecuencias	**Multiplicar dB/octava por el siguiente factor, para obtener relación de frecuencias expresada en dB**
1,2 :1	0,263
1,25 :1	0,322
1,33 :1	0,412
1,5 :1	0,585
2 :1	1,00
3 :1	1,59
4 :1	2,00
5 :1	2,33
6 :1	2,59
7 :1	2,81
8 :1	3,00
10 :1	3,33

Ejemplo: *¿Cuál es el cambio en nivel para una relación de frecuencia de 1,5:1 cuando el régimen de cambio es de 6 dB por octava?*

Cambio en nivel = 0,585 × 6 = 3,51 dB.

X) Relaciones entre dB/octava y dB/década.

TABLA XLIX

dB/OCTAVA vs dB/DECADA

dB/octava	3	6	9	10	12	15	18
dB/década	10	20	30	33,3	40	50	60

XI) Conversión de relación de frecuencias a número de octavas y décadas.

TABLA L
RELACION DE FRECUENCIAS, OCTAVAS Y DECADAS

Relación de frecuencias	Número de octavas	Número de décadas
1,07	0,1	0,03
1,15	0,2	0,06
1,23	0,3	0,09
1,32	0,4	0,12
1,42	0,5	0,15
1,52	0,6	0,18
1,63	0,7	0,21
1,74	0,8	0,24
1,87	0,9	0,27
2,00	1,0	0,30
2,30	1,2	0,36
2,64	1,4	0,42
3,03	1,6	0,48
3,48	1,8	0,54
4,00	2,0	0,60
4,60	2,2	0,66
5,28	2,4	0,72
6,07	2,6	0,78
6,97	2,8	0,84
8,00	3,0	0,90
9,18	3,2	0,96
10,00	3,32	1,00
10,6	3,4	1,02
12,1	3,6	1,06
13,9	3,8	1,14
16,0	4,0	1,20
18,4	4,2	1,26
21,2	4,4	1,33
24,3	4,6	1,39
27,9	4,8	1,45
32,0	5,0	1,51

Sabido es que una octava representa una relación de frecuencias de 1:2. Así habrá una octava entre 500 c/s y 1000 c/s por una parte y 500 c/s y 250 c/s por otra.

La relación entre octava y década es la siguiente:

1 octava = 0,301 década

o, lo que es lo mismo:

1 década = 3,32 octavas

Así por ejemplo, en el caso de querer expresar 8 décadas en octavas, tendremos que realizar la siguiente operación:

8 décadas = 8 × 3,32 = 26,56 octavas

Otras relaciones importantes son las siguientes:

Relación de frecuencias

= antilog (número de décadas)
= antilog (0,301 × número de octavas)

Número de décadas

= log (relación de frecuencias)
= 0,301 × número de octavas

Número de octavas

= 3,32 × log (relación de frecuencias)
= 3,32 × número de décadas.

XI) Conversión de decibel a porciento. — El nomograma de la figura 96 indica el porciento de ganancia o pérdida correspondiente a la ganancia o pérdida en decibeles de un circuito de radio o audiofrecuencia. Por ejemplo, si una red tiene una pérdida de 7 dB, la salida del circuito será del 20 % de la entrada. En igual forma, si un amplificador tiene una ganancia de 9 dB, la salida será del 800 % de la entrada.

XII) Tabla de curvas de resonancia. — Para un factor de selectividad dado $Q = \omega L/R$ de una bobina y un desacuerdo en más o menos de la resonancia, la pérdida de energía en decibeles será:

TABLA LI

PERDIDAS DE ENERGIA EN dB

% en +	% en —	Q = 40	Q = 60	Q = 80	Q = 100	Q = 120
de desacuerdo						
10,5	9,5	12,3	15,7	18,1	20,04	23,2
22,2	18,4	18,13	23,2	24,1	26,1	29,2
35	26	21,7	25,2	27,7	29,66	32,2
49,2	33,1	24	27,8	30	32,24	33,8
65,9	39,7	26	29,9	32	34,34	36
82,2	45,2	28,1	31,6	34,1	36,4	37,6
101,4	50,4	29,8	33,1	35,8	38,1	39,1
122,5	55	31	34,5	37	39,3	40,5
146	59,4	32,4	35,8	39,3	40,7	41,8

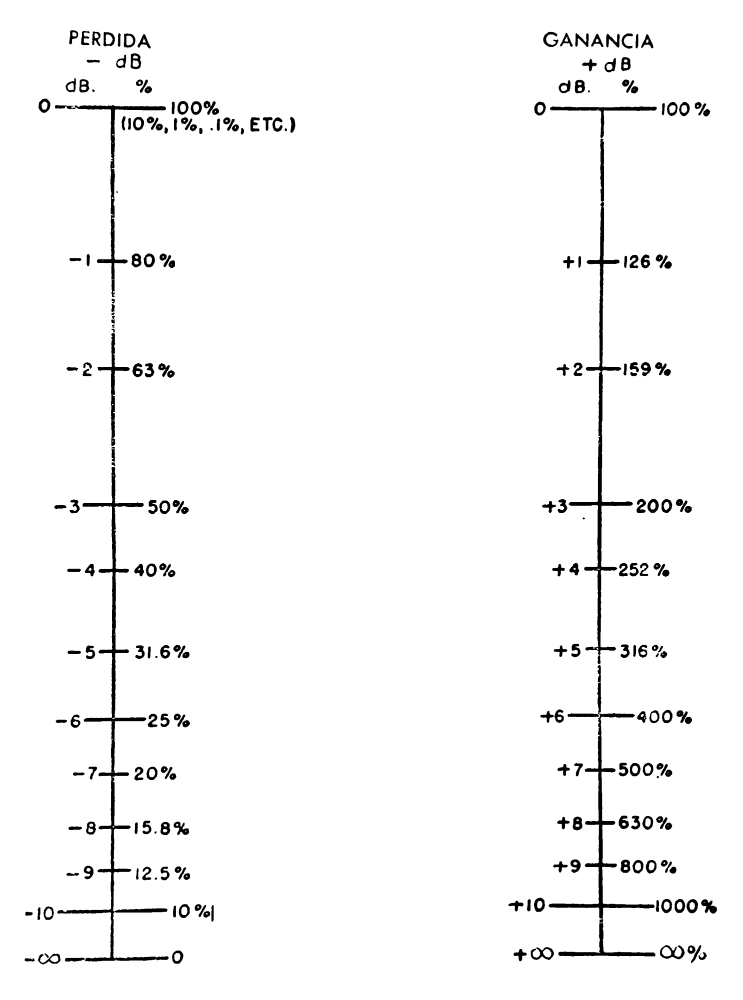


Fig. 96. — Porciento de ganancia o pérdida, correspondiente a la ganancia o pérdida en dB.

XIII) Pérdidas en dB para un porciento de desacuerdo dado. — La fórmula que debe aplicarse en este caso es la siguiente:

$$dB = 10 \log_{10} (1 + Q^2 Sh^2 x)$$

con $x = \log \text{nep.} (\Delta f / f)$.

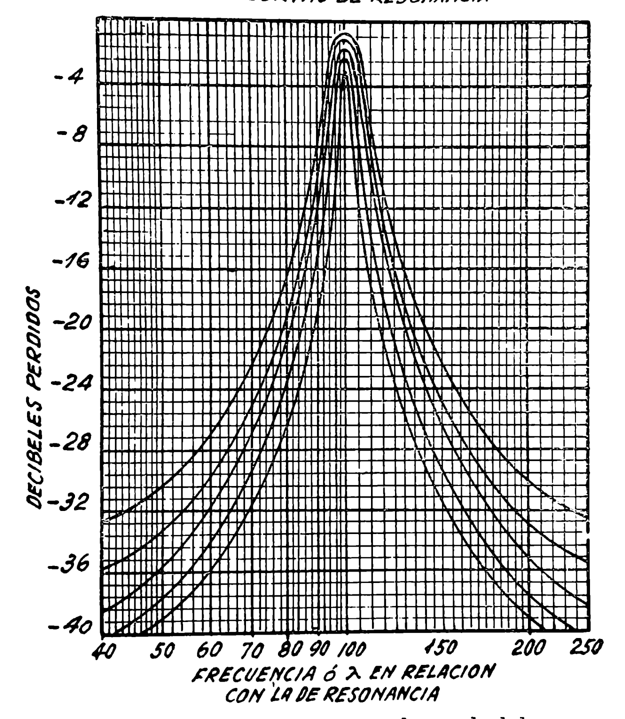


Fig. 97. — Pérdida en dB para un desacuerdo dado.

Se sabe, que en condiciones de resonancia, el conjunto transformador-válvula suministra el máximo de señal. Al separarse de la frecuencia f de resonancia, la caída de pulsación (en decibeles) es tanto más fuerte cuando:

1) la resonancia es más aguda y la calidad de la bobina mayor;

2) el desacuerdo df efectuado es grande.

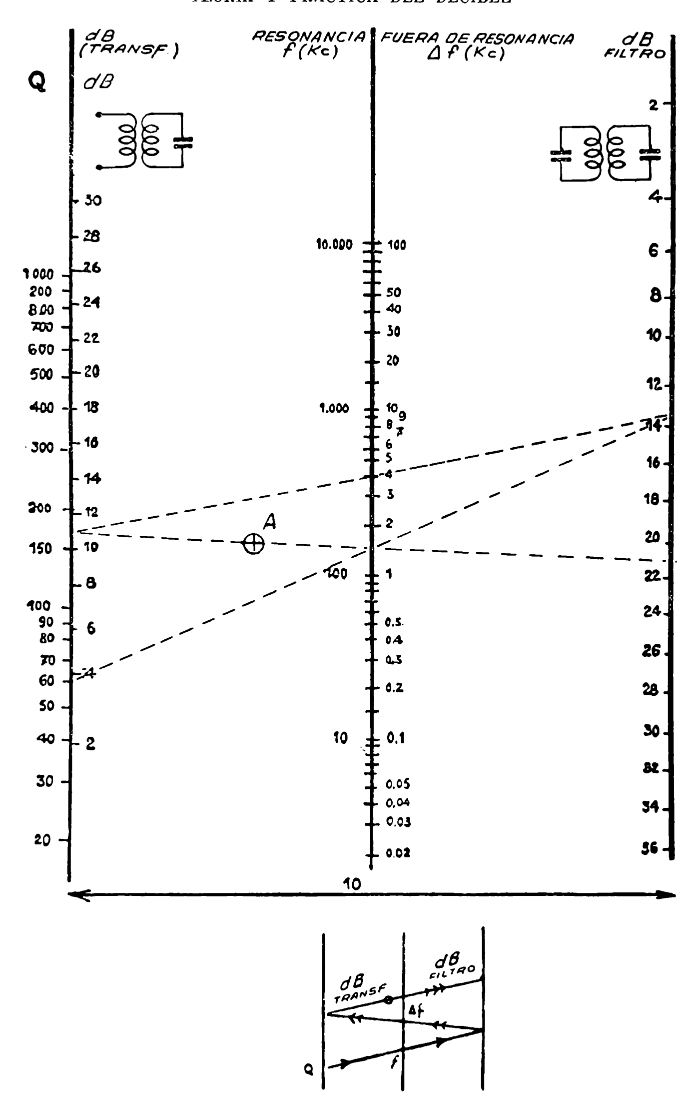


Fig. 98. — Pérdidas en dB a la frecuencia de resonancia *f* o fuera de resonancia *df* y el *Q* de un transformador sintonizado.

La fórmula que relaciona la pérdida en decibeles a la frecuencia de resonancia f o fuera de resonancia df y el factor de sobretensión Q de la bobina es la presentada más atrás, en tanto que se trata de un transformador de secundario sintonizado. En el caso de un transformador con dos bobinados idénticos la pérdida es función del factor de acoplamiento. En nuestro ábaco, se supone que este acoplamiento es igual a $K = 1/Q$ (fig. 98).

Empleo: se señala el factor Q sobre el lado izquierdo del eje de la izquierda y f sobre el eje medio. Se encuentra. El canto de la regla cortará al eje de la derecha. Desde este punto se hace pasar el borde de la regla sobre la graduación "desacuerdo" correspondiente del eje medio, encontrándose entonces en el eje de la izquierda la pérdida en decibeles, cuando se trata de un transformador.

Si se trata de un filtro, se vuelve a partir de esta última indicación, pasando la regla por el reparo especial A, y se lee a la derecha la pérdida en decibeles.

Ejemplo: Si $Q = 60$ y la f. i. = 135 kc/s, ¿cómo se atenúan las notas de 4000 c/s? Procediendo como se ha indicado, se tendrá (ver líneas de puntos en la fig. 94) una pérdida de 11 dB en el caso de un transformador. En el caso de un filtro de acoplamiento óptimo ($K = 1/30 = 3{,}3\ \%$) la pérdida será de aproximadamente 11 dB.

BIBLIOGRAFIA

1. TERMAN, F. E., *Measurements in Radio Engineering,* McGraw Hill Book Company, N. Y.
2. VERMEULEN, R., *Octaves and Decibels,* Philips' Technical Review, Eindhoven Holland, Vol. 2, N° 2, Feb. 1937.
3. INSTITUTE OF RADIO ENGINEERS, New York, *Standards on Radio Receivers,* 1938.
4. *The Decibel Notation,* V. V. L. RAO, Chemical Publishing Co., Inc., 1946.
5. MORRIS, ALFRED, *The decibel notation and its applications to the technique of power transmission,* Dorling & Co. (Epsom, Surrey, England).
6. MARTIN, W. H., *Decibel — The name for the transmission unit,* Bell System Tech. Jour, January, 1929.
7. MARTIN, W. H., *The transmission unit and telephone Transmission Reference System,* Bell System Tech. Jour., July, 1924.
8. SHEA, T. E., *Transmission Circuits for Telephone Communication,* D. Van Nostrand Co., Inc. N. Y.
9. GENERAL RADIO COMPANY, Cambridge, Mass. (U.S.A.), *Catalogue K* (1929), *Decibel Conversion Tables.*
10. WRIGHT, P. B., *Evolution of the decibel and the VU,* Communications, April and May 1944.
11. HEDSON, P. K., *Calibration of decibel meters,* Communications, July 1945.
12. SCOTT, F. S. G., *Absolute bels,* Wireless Engineering, may 1946.
13. MIEDKE, R. C., *Decibel Conversion Chart,* Proc. I. R. E., feb. 1946.
14. PERRY, S. V., *The decibel scale,* RMA Tech., Bulletin, nov. 1940.
15. CHINN, H. A., *"dBm vs VU",* Audio Eng. march 1948.
16. PENDER, H., and K. MCILWAIN, *Electrical Engineers Handbook,* Vol. 5, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1936. (Existe edición española H.A.S.A.)
17. OLSON, H. F., *Elements of Acoustical Engineering,* D. Van Nostrand Co., New York.
18. DI MATTIA, A. L., and L. R. JONES, *Adding decibel — expressed quantities,* Audio Engineering, july, 1951.
19. FLETCHER, H., and MUNSON, W. A., *Loudness, its definition, measurement and calculation,* J. Acous., Soc. Am., oct., 1933.
20. F. LANGFORD SMITH, *Radio Designer's Handbook.*
21. BERANEK, L. L., *Acoustic Measurements,* John Wiley and Sons Inc., New York, 1949.

ESTE LIBRO SE TERMINÓ
DE IMPRIMIR EL DÍA 18
DE ABRIL DEL AÑO
MIL NOVECIENTOS CIN-
CUENTA Y OCHO EN LA
IMPRENTA LÓPEZ,
PERÚ 666, BUENOS AIRES,
REPÚBLICA ARGENTINA.

H. A. S. A. EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A.

OTRAS OBRAS PUBLICADAS

POR ESTA EDITORIAL

Ing. Francisco L. Singer

MANUAL DEL INGENIERO ELECTRICISTA
TRATADO DE TELEVISION
TRATADO DE ELECTRICIDAD
TRANSFORMADORES
TRATADO DE INSTALACIONES ELECTRICAS
EL LABORATORIO DE RADIO Y TV

Ing. Ramón Baudés Gorlero

TELEVISION
INSTRUMENTAL Y REPARACIONES

Pender del Mar

MANUAL DEL INGENIERO ELECTRICISTA

S. Sorin

TRATADO DE ILUMINACION FLUORESCENTE

Christian Gellert

APRENDA RADIO EN 15 DIAS

Ing. Francisco L. Singer
y Christian Gellert

APRENDA TV EN 15 DIAS

Ing. J. Melman

EL FACTOR DE POTENCIA

Ch. E. Dull e Ira G. Newlin

FUNDAMENTOS DE MECANICA APLICADA

Mark B. Moore

ANALISIS EXPERIMENTAL DE TENSIONES MECANICAS

Roberto Fuchs

REFRIGERACION EN 10 LECCIONES

EDITORIAL
HISPANO AMERICANA, S. A.
Alsina 731 Buenos Aires



EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A.

Este libro perteneció
al Sr. Néstor Gilardón,
y me fue donado por su viuda,
por sugerencia de nuestro amigo mutuo,
el Sr. Jorge Casalía.